

Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de las Tecnologías de
Telecomunicación

Diseño y simulación de dos radioenlaces para la
conexión de una red de telefonía móvil temporal

Autor: Antonio José Muñoz Ciudad

Tutor: Rafael Boloix Tortosa

Dep. Teoría de la Señal y Comunicaciones
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2018



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de las Tecnologías de Telecomunicación

Diseño y simulación de dos radioenlaces para la conexión de una red de telefonía móvil temporal

Autor:

Antonio José Muñoz Ciudad

Tutor:

Rafael Boloix Tortosa

Profesor Contratado Doctor

Dep. de Teoría de la Señal y Comunicaciones

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2018

Trabajo Fin de Grado: Diseño y simulación de dos radioenlaces para la conexión de una red de telefonía móvil temporal

Autor: Antonio José Muñoz Ciudad

Tutor: Rafael Boloix Tortosa

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2013

El Secretario del Tribunal

A mi familia

A mis maestros

A mis amigos

Agradecimientos

Se pone fin a una etapa llena de momentos buenos y no tan buenos, en la que he recorrido un duro camino, pero con la satisfacción de conseguir lo que me había propuesto. En ella, ha habido personas que me han acompañado y apoyado y este es el momento de agradecerse.

Quiero empezar como no puede ser de otra forma por mi familia, que siempre me ha estado ayudando y enseñando a ser la persona que soy ahora y que sin ellos esto no hubiera sido posible.

Gracias a mi amor, por confiar en mí cuando ni yo mismo lo hacía y acompañarme hasta donde estoy hoy.

Agradecer a todos mis profesores que han puesto su granito de arena para formarme y que en un futuro pueda ser un buen profesional. Especial mención a mi tutor de este trabajo, Rafael Boloix Tortosa, por permitirme realizar este proyecto, el interés mostrado en cada momento y guiarme y corregirme para que la finalización de este proyecto fuera posible.

Antonio José Muñoz Ciudad

Grado en Ingeniería de las Tecnologías de Telecomunicación

Sevilla, 2018

Resumen

En este trabajo se realizará el diseño y la simulación de dos radioenlaces temporales que se usarán para aumentar la cobertura de una red de telefonía móvil durante la Feria de Sevilla. Estos dos radioenlaces tendrán, cada uno, una estación base dentro del recinto ferial, pero situadas en la zona de atracciones, ya que la zona de casetas está conectada a través de fibra óptica debido al paso de dos canalizaciones principales del operador por dicha zona.

Tras hacer una breve descripción de la teoría de radioenlaces, se pasa a la parte más importante del trabajo que es la solución que se va a proponer al operador. Para ello, se necesita realizar una búsqueda de equipos y antenas que se adapten a las condiciones del radioenlace. Después de eso, se realiza un estudio de cobertura, disponibilidad e interferencia para comprobar si se cumplen los requisitos propuestos por la UIT. Dichos estudios se han realizado con el software de planificación ICS Telecom de ATDI. Posteriormente, y como último punto, se explican los procedimientos y permisos necesarios para poner en funcionamiento los radioenlaces respecto a la normativa vigente.

Abstract

In this project, the design and simulation of two temporary radio links will be used to increase the coverage of a telephone network during the Seville Fair. These two radio links will each have a base station inside the fairground, but it will be located in the area of attractions, since the area of “*casetas*” is connected through fiber optic due to the passage of two main channels of the operator for that area.

A brief description of the theory of radio links will be followed by the most important part of the work, which is the solution that is going to be proposed to the operator. For this, it is necessary to carry out a research of equipment and antennas that adapt to the conditions of the radio link. After that, a coverage, availability and interference studies are carried out in order to verify if the requirements proposed by the UIT are reached. These studies have been carried out with the ICS Telecom planning software from ATDI. Subsequently, and as the last point, there will be an explanation of the procedures and permits needed in order to operate the radio links with respect to the current regulations.

Índice

Agradecimientos	ix
Resumen	xi
Abstract	xiii
Índice	xv
Índice de Tablas	xvii
Índice de Figuras	xix
1 Introducción	1
1.1 <i>Objetivos</i>	1
1.2 <i>Estructura de la memoria</i>	2
2 Radioenlaces de servicio fijo	3
2.1 <i>Clasificación de radioenlaces</i>	3
2.2 <i>Estructura general de un radioenlace</i>	3
2.2.1 Elementos de reserva	4
2.2.2 Sistemas de supervisión	4
2.3 <i>Bandas y asignación de frecuencias</i>	5
2.4 <i>Ventajas e inconvenientes de los radioenlaces</i>	5
2.5 <i>Dispositivos de microondas y antenas</i>	6
2.5.1 Circuitos de acoplo y alimentadores	6
2.5.2 Antenas	6
2.5.3 Repetidores pasivos	7
2.6 <i>Parámetros básicos</i>	7
2.7 <i>Datos de propagación para el cálculo de radioenlaces</i>	8
2.7.1 Atenuaciones	8
2.7.2 Desvanecimientos multitrayecto	10
2.7.3 Protección contra desvanecimientos: Diversidad	11
2.8 <i>Calidad y disponibilidad de un radioenlace</i>	11
2.8.1 Evaluación de la indisponibilidad	12
2.8.2 Objetivos de indisponibilidad	14
2.8.3 Evaluación de la calidad	14
2.8.4 Objetivos de calidad	15
2.9 <i>Interferencias</i>	16
3 Solución con ICS Telecom	17
3.1 <i>Introducción a ICS Telecom</i>	17
3.1.1 Organización por capas	17
3.1.2 Coordenadas	18
3.1.3 Parámetros generales	18
3.2 <i>Diseño de los radioenlaces</i>	20
3.2.1 Planteamiento del problema	20

3.2.2	Elección de la banda de frecuencias	26
3.2.3	Búsqueda y elección de equipos y antenas	28
3.3	<i>Simulaciones y análisis</i>	30
3.3.1	Análisis de cobertura	30
3.3.2	Análisis de disponibilidad y calidad	31
3.3.3	Análisis de interferencias	41
3.4	<i>Elementos básicos de los emplazamientos urbanos</i>	45
3.4.1	Caseta de telecomunicación	45
3.4.2	Mástiles o soportes	45
3.4.3	Red eléctrica y rectificadores	46
3.4.4	Baterías	46
3.4.5	Aire acondicionado	46
3.4.6	Alarmas	46
3.4.7	Puesta a tierra	47
3.4.8	Emplazamientos en la zona de atracciones	47
3.5	<i>Instalación física de equipos</i>	48
4	Reglamento y procedimientos	55
4.1	<i>Reglamento sobre el uso del dominio público radioeléctrico</i>	55
4.1.1	Dominio público radioeléctrico	55
4.2	<i>Procedimiento para poner en funcionamiento las estaciones de un radioenlace</i>	56
4.2.1	Obtención del título habilitante	57
4.2.2	Proyecto técnico y autorización para realizar la instalación	58
4.2.3	Instalación de estaciones radioeléctricas	60
4.2.4	Puesta en servicio	60
4.2.5	Otros datos	62
5	Conclusiones	65
	ANEXOS	67
	Referencias	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1. Objetivos de disponibilidad actuales.	14
Tabla 2-2. Objetivos de calidad de error para el tramo de corto alcance y para el tramo de acceso.	15
Tabla 3-1. Método de atenuación de subruta según resolución y altura. [15]	19
Tabla 3-2. Coordenadas y altura de los emplazamientos del primer radioenlace.	22
Tabla 3-3. Coordenadas y altura de los emplazamientos del segundo radioenlace.	23
Tabla 3-4. Banda de frecuencias según distancia. [19]	26
Tabla 3-5. Frecuencias utilizadas en el primer radioenlace.	28
Tabla 3-6. Frecuencias utilizadas en el segundo radioenlace.	28
Tabla 3-7. Principales características de las antenas de la empresa Commscope.	29
Tabla 3-8. Niveles de potencia recibidos en cada estación y relación C/I.	43
Tabla 3-9. Frecuencias utilizadas en el primer radioenlace.	44
Tabla 3-10. Frecuencias utilizadas en el segundo radioenlace.	44
Tabla 3-11. Tipos de IDU.	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1. Esquema general de un radioenlace. [3]	4
Figura 2-2. Plan a dos frecuencias. [4]	5
Figura 2-3. Diagrama de radiación de una antena parabólica. [6]	7
Figura 2-4. Repetidor pasivo back-to-back y reflector plano. [7]	7
Figura 2-5. Atenuación específica debido a los gases para una presión de 1013 hPa, temperatura de 15 °C y densidad de vapor de agua de 7.5 g/m ³ . [9]	9
Figura 3-1. Organización en capas de ICS Telecom. [15]	18
Figura 3-2. División de la Feria de Sevilla en zona de atracciones o de casetas.	20
Figura 3-3. Ubicación de estaciones de telefonía móvil.	21
Figura 3-4. Distribución de atracciones. [18]	21
Figura 3-5. Perfil del radioenlace entre República Argentina y Ratón Vacilón 1.	22
Figura 3-6. Perfil del radioenlace entre Virgen de Luján y Ratón Vacilón 2.	23
Figura 3-7. Ubicación de la estación situada en República Argentina para el primer radioenlace.	24
Figura 3-8. Ubicación de la estación situada en una de las atracciones Ratón Vacilón para el primer radioenlace.	24
Figura 3-9. Ubicación de la estación situada en Virgen de Luján para el segundo radioenlace.	25
Figura 3-10. Ubicación de la estación situada en otra de las atracciones Ratón Vacilón para el segundo radioenlace.	25
Figura 3-11. Canalizaciones de la banda de 38 GHz. [23]	27
Figura 3-12. Nivel de intensidad de campo/potencia de señal.	30
Figura 3-13. Pérdidas en espacio libre.	31
Figura 3-14. Disponibilidad del sistema incluyendo tiempo de interrupción.	32
Figura 3-15. Disponibilidad del sistema sin incluir tiempo de interrupción.	32
Figura 3-16. Perfil del radioenlace República Argentina-Ratón Vacilón 1.	33
Figura 3-17. Informe del radioenlace República Argentina-Ratón Vacilón 1.	35
Figura 3-18. Perfil del radioenlace Ratón Vacilón 1-República Argentina.	35
Figura 3-19. Informe del radioenlace Ratón Vacilón 1-República Argentina.	37
Figura 3-20. Perfil del radioenlace Virgen de Luján-Ratón Vacilón 2.	37
Figura 3-21. Informe del radioenlace Virgen de Luján-Ratón Vacilón 2.	39
Figura 3-22. Perfil del radioenlace Ratón Vacilón 2-Virgen de Luján.	39
Figura 3-23. Informe del radioenlace Ratón Vacilón 2-Virgen de Luján.	41
Figura 3-24. Cálculo de nivel de interferencia por el método TD.	42
Figura 3-25. Cálculo de nivel interferencia por el método C/I.	42

Figura 3-26. Cálculo de nivel de interferencia por el método C/I y umbral de recepción como potencia recibida.	43
Figura 3-27. Cálculo de nivel interferencia por el método C/I con misma canalización.	44
Figura 3-28. Rack de exterior. [27]	47
Figura 3-29. IDU 20x.	48
Figura 3-30. Panel frontal del IDU 20x.	48
Figura 3-31. Montaje conjunto antena-ODU.	49
Figura 3-32. Conexión mediante guía de onda de una ODU a la antena.	49
Figura 3-33. ODU 300ep.	50
Figura 3-34. Sujeción al mástil y rotador de polarización de una antena Commscope.	50
Figura 3-35. Orientación de ODU para polarización vertical u horizontal.	51
Figura 3-36. Acoplador fijado a la antena y acoplador con ODUs ya instaladas.	51
Figura 3-37. Esquema de la instalación. [28]	53
Figura 3-38. Esquema de elementos y conexionado en un emplazamiento de telefonía móvil. [29]	54
Figura 4-1. Restricciones básicas para campos electromagnéticos (0 Hz-300 GHz)	62
Figura 4-2. Niveles de referencia para campos electromagnéticos (0 Hz-300 GHz, valores rms imperturbados)	63

1 INTRODUCCIÓN

Si se siembra la semilla con fe y se cuida con perseverancia, sólo será cuestión de tiempo recoger sus frutos.

- Thomas Carlyle -

Los radioenlaces de microondas de servicio fijo permiten la transmisión económica, eficiente y simultánea de grandes volúmenes de información entre dos puntos que se encuentran relativamente alejados. No obstante, esta transmisión también se puede hacer por cable, aunque su instalación es mucho más compleja, ya que habría que realizar una serie de obras por todo el recorrido por el que transcurra el cable. Por tanto, ésta es la principal ventaja, ya que resulta mucho más sencillo instalar varias antenas en torres de comunicación. A esa ventaja se le suma otra como es que los fallos sean localizados con facilidad, lo que provoca que el tiempo de reparación también sea menor.

En el diseño de radioenlaces es necesario realizar un estudio bien detallado del perfil topográfico, de las condiciones climáticas, etc. Debido a estas cuestiones hay que considerar las distintas atenuaciones que puede sufrir la señal, así como los diferentes tipos de desvanecimiento que se pueden dar. Debido a la gran cantidad de efectos que hay que considerar en el diseño de un radioenlace, es necesaria alguna herramienta de simulación que facilite la tarea y en este Trabajo Fin de Grado se ha hecho uso de ICS Telecom de ATDI, una herramienta que permite obtener los parámetros básicos para el diseño de radioenlaces.

En el caso de este evento y para dar cobertura a las necesidades de comunicación que se producirán durante la semana de la Feria de Abril de Sevilla, la zona de casetas se conectará mediante fibra óptica a dos canalizaciones principales que atraviesan el recinto ferial y que se conectan con centrales de telefonía ya existentes del operador. Para la zona de atracciones, al no existir ninguna canalización que pase por dicha zona, se pondrán en funcionamiento dos radioenlaces que unirán estaciones de telefonía móvil cercanas para aumentar la cobertura. Este proyecto se centra en el diseño de ambos radioenlaces, así como el proceso para su puesta en servicio.

1.1 Objetivos

El objetivo de este Trabajo Fin de Grado es estudiar los parámetros más importantes a diseñar en ambos radioenlaces para que en las comunicaciones se pueda asegurar una alta disponibilidad y calidad.

La certificación de sus líneas de vista será el primer paso en el diseño de ambos radioenlaces, ya que se debe comprobar si existe visibilidad entre los dos extremos de los radioenlaces, así como una zona de despeje adicional llamada zona de Fresnel. Tras ello, se tiene la ubicación exacta de los extremos de ambos y se procede a su diseño, en el que se definirán sus elementos y características como equipos transceptores, antenas a instalar, banda de frecuencia, ancho de banda, capacidad, etc, cumpliendo siempre los criterios de calidad, disponibilidad y nivel de interferencias requeridos.

Se utilizarán equipos transceptores y antenas disponibles en el mercado, y una banda de frecuencias que se encuentre disponible en dicha área geográfica, y que esté destinada para el servicio fijo según el Cuadro Nacional de Asignación de Frecuencias.

1.2 Estructura de la memoria

Para cumplir los objetivos planteados en el proyecto, se han seguido una serie de pasos para su realización y han sido los siguientes:

- Exposición de los conceptos teóricos básicos sobre radioenlaces de servicio fijo.
- Planteamiento de ambos radioenlaces.
- Búsqueda de información topográfica y elaboración del perfil de cada radioenlace.
- Búsqueda y elección de los equipos y banda de frecuencias.
- Simulación de ambos radioenlaces con la herramienta ICS Telecom.
- Evaluación de los resultados obtenidos.
- Exposición de los elementos básicos de un emplazamiento.
- Instalación física de los equipos de un radioenlace.
- Desarrollo de los procedimientos a seguir a la hora de instalar una estación radioeléctrica.
- Conclusiones.

La memoria de este Trabajo Fin de Grado se divide en 5 capítulos. En este primer capítulo se ha explicado la estructura del trabajo y se han introducido los objetivos principales. En el segundo capítulo, se explican los conceptos teóricos básicos acerca de los radioenlaces, incidiendo en los principales parámetros que afectan a la calidad y disponibilidad del sistema. En el tercer capítulo se presenta la herramienta con la que se van a realizar las simulaciones de ambos radioenlaces, junto con el diseño de los radioenlaces, los resultados de las simulaciones, los elementos básicos situados en los emplazamientos y una breve descripción del proceso para la instalación física de los equipos. En el cuarto capítulo, se procede a explicar el procedimiento y normas a seguir en la instalación de una estación base. Y como último capítulo, se finaliza la memoria con las conclusiones obtenidas de este proyecto.

2 RADIOENLACES DE SERVICIO FIJO

Un radioenlace es cualquier interconexión entre terminales de telecomunicación llevada a cabo por ondas electromagnéticas a través de un medio no guiado (aire), específicamente por aquellas que entran en el rango de las señales de radio (microondas). Los radioenlaces, establecen un concepto de comunicación del tipo dúplex, por el que se transmiten dos portadoras moduladas: una para la transmisión y otra para la recepción de información. Se le denomina radiocanal al par de portadoras asignadas para cada sentido de la comunicación. Toda la información recogida en este capítulo ha sido extraída del Capítulo 5 del libro “Transmisión por Radio” de Hernando Rábanos [1] junto con las transparencias de la asignatura Sistemas de Radiocomunicación [2] en la que se explican los aspectos más importantes acerca de los radioenlaces de servicio fijo.

2.1 Clasificación de radioenlaces

Los radioenlaces se pueden clasificar de varias formas según varios aspectos. A continuación, se exponen esas clasificaciones.

- Según el tipo de terminal:
 - Radioenlaces de servicio fijo: sistemas de radiocomunicaciones entre puntos fijos situados sobre la superficie terrestre. Estos radioenlaces permiten el envío de información con una alta disponibilidad y calidad. Normalmente las bandas de frecuencias usadas se encuentran entre los 2 GHz y 50 GHz.
 - Radioenlaces de servicio móvil: aquellos en que alguno de sus terminales es móvil.
- Según la situación de los terminales:
 - Radioenlaces terrenales: todos los terminales se encuentran en la Tierra.
 - Radioenlaces espaciales o por satélites: uno o más repetidores en satélite.
- Según la modulación de la portadora de la señal que transmiten:
 - Radioenlaces analógicos: la portadora se modula en frecuencia (FM) y se usaban para la transmisión de canales telefónicos y de televisión, aunque actualmente están en desuso.
 - Radioenlaces digitales: se utilizan varias variantes de la modulación PSK, así como modulaciones mixtas de amplitud y fase del tipo MQAM. Estos radioenlaces permiten el aumento de la capacidad respecto a los radioenlaces analógicos y tienen diversas funciones como señales de video, música, datos o señales telefónicas.

2.2 Estructura general de un radioenlace

Un radioenlace está formado por estaciones terminales y estaciones repetidoras intermedias con equipos transceptores (equipos transmisores-receptores que comparten el mismo sistema radiante), antenas y sistemas de supervisión y control. Además de las estaciones repetidoras comunes, también puede haber estaciones nodales, donde se baja la señal a banda base y se pueden extraer o introducir canales. Al trayecto entre el terminal y el nodo se le llama sección de conmutación y permite el control, protección y supervisión de la información.

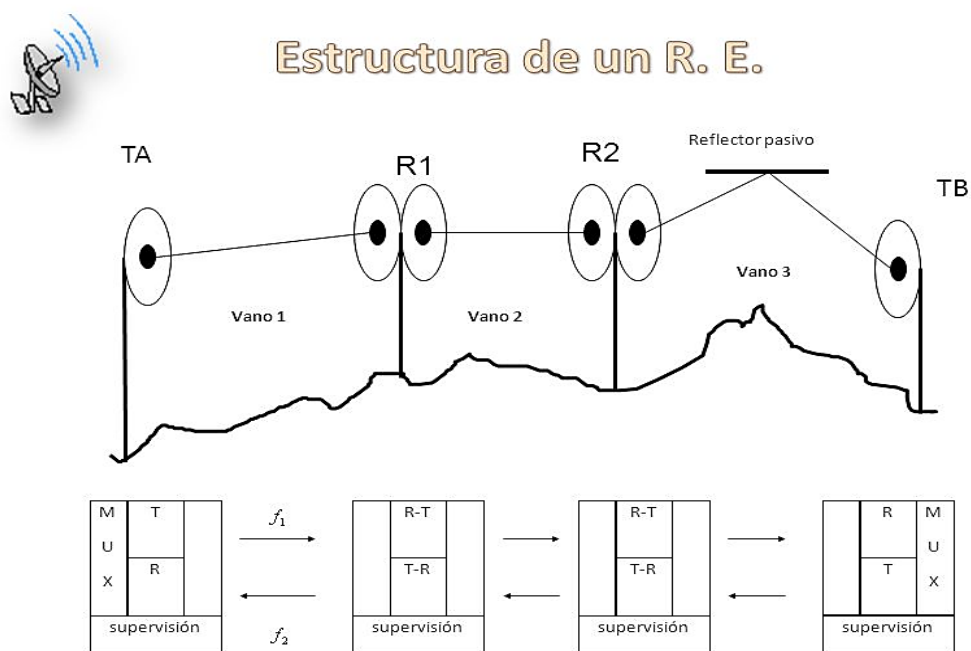


Figura 2-1. Esquema general de un radioenlace. [3]

Los repetidores, comentados anteriormente, pueden ser activos (se amplifica la señal en FI y se reenvía) o pasivos (la señal se reenvía en otra dirección tal como ha llegado).

Se define vano como la sección del enlace que une un terminal y un repetidor o dos repetidores. Tienen una longitud límite de 80 km para frecuencias menores de 10 GHz y de 30 km si la frecuencia es mayor de 10 GHz debido a las pérdidas producidas por la lluvia. Conviene usar vanos de la mayor longitud posible (teniendo en cuenta los desvanecimientos), ya que habría que instalar menos equipos y, por tanto, los costes se reducirían.

Como se observa en la Figura 2-1, los radioenlaces son sistemas de comunicación en serie, por lo que cualquier desvanecimiento o avería en un vano cortaría la comunicación. Los radioenlaces en los que se precisa una alta disponibilidad deben tener un buen sistema de redundancia de equipos para mantener la continuidad frente a posibles averías de equipos junto con distintas técnicas de diversidad para hacer frente a los desvanecimientos.

2.2.1 Elementos de reserva

Para tener una fiabilidad acorde a las necesidades del radioenlace es necesario disponer de equipos de reserva que actúen en caso de fallo del enlace. En general, un radioenlace que dispone de M radiocanales activos y N de reserva se designa como "M+N". El paso del radiocanal operativo al de reserva se puede hacer tanto de forma automática, mediante sistemas de supervisión, como de forma manual.

2.2.2 Sistemas de supervisión

Se usan para obtener la máxima información acerca del estado del enlace en un momento determinado (estado de los equipos) y que facilite las labores de mantenimiento, como, por ejemplo, localizar donde se ha producido una avería.

2.3 Bandas y asignación de frecuencias

En los terminales de cada vano, se usa una frecuencia para transmisión y otra para recepción por radiocanal. Estas frecuencias deben estar lo suficientemente separadas para evitar los acoplos entre ellas. Se usa el plan a dos frecuencias en el que los terminales y repetidores transmiten por una frecuencia y reciben por otra como se observa en la Figura 2-2. Debido a esta reutilización de frecuencias puede haber interferencias cocanal hacia atrás y hacia adelante. Para reducir ese efecto, se cambia la polarización en cada vano.

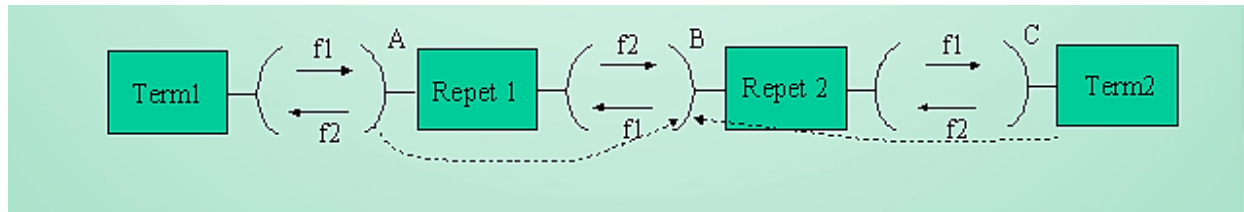


Figura 2-2. Plan a dos frecuencias. [4]

En el Reglamento de Radiocomunicaciones se asignan al servicio fijo de banda ancha las bandas: 1.5, 2, 3.8-4.2, 5.9-6.4, 6.4-7.1, 7.1-7.4, 7.4-7.7, 7.7-8.3, 8.3-8.5, 10.5-10.7, 11, 13, 15, 18, 21, 23, 26, 28, 31, 38, 50, 52, 56, 60, 64-66, 70 y 80 GHz. [5] Atendiendo a este Reglamento, el Cuadro Nacional de Asignación de Frecuencias (CNAF) elaborado por la Secretaría de Estado para la Sociedad de la Información y Agenda Digital (SESIAD) recoge la separación de canales y los distintos usos de las diferentes bandas, así como la frecuencia central, ancho de banda, número de radiocanales...

Debido a la saturación que existe por debajo de los 10 GHz, se han ido asignando nuevas bandas hasta llegar a los 80 GHz. En general, cada banda se divide en dos mitades, una para transmisión y otra para recepción.

2.4 Ventajas e inconvenientes de los radioenlaces

Las principales ventajas de los radioenlaces respecto a otros sistemas de comunicación son:

- Menor coste en la instalación.
- Instalación más rápida y sencilla.
- Supera irregularidades del terreno.
- Las averías sólo pueden encontrarse en los terminales o repetidores instalados.

Entre los principales inconvenientes podemos destacar:

- Necesaria la visibilidad directa entre terminales.
- Necesidad de alimentación y acondicionamiento para los equipos, así como algún tipo de mantenimiento.
- La segregación de canales no es tan sencilla como en sistemas por cable.
- Si un terminal falla, se cae toda la red, por lo que son necesarios sistemas de supervisión y control.
- Anchos de banda pequeños comparado con fibra óptica.

2.5 Dispositivos de microondas y antenas

2.5.1 Circuitos de acoplo y alimentadores

Los circuitos de acoplo permiten la transmisión y recepción de varios radiocanales por la misma antena. Están formados por circuladores, filtros, polarizadores y duplexores. Los circuitos varían según el número de radiocanales y las polarizaciones. Introducen pérdidas de inserción al ser elementos pasivos.

Los alimentadores son líneas de transmisión que transportan las señales hasta la antena. Pueden ser líneas coaxiales, utilizadas con frecuencias menores de 3 GHz o guíaondas, para frecuencias mayores, ya que las líneas coaxiales tienen atenuaciones bastante mayores.

2.5.2 Antenas

Las antenas utilizadas normalmente son paraboloideas o reflectores de bocina. Para frecuencias mayores de 2 GHz, el diámetro de las antenas no supera los 3 metros. Se destacan los siguientes parámetros:

- Ganancia isotrópica

Viene dada por la siguiente fórmula:

$$g = \eta \left(\frac{\pi D}{\lambda} \right)^2 \quad (2-1)$$

donde:

η y D son el rendimiento y el diámetro de la antena respectivamente, así como λ es la longitud de onda dependiente de la frecuencia de trabajo.

En dB se puede reescribir la ecuación anterior como:

$$G(dB) = 20.4 + 10 \log \eta + 20 \log D(m) + 20 \log f(GHz) \quad (2-2)$$

- Anchura del haz a 3 dB

$$BW(^{\circ}) = 70 \cdot \frac{\lambda}{D} = \frac{21}{f(GHz) \cdot D(m)} \quad (2-3)$$

Para aprovechar la ganancia de la antena se debe tener gran precisión en el apuntamiento.

- Diagrama de radiación

Se asignan los niveles de radiación en función del ángulo con respecto al eje de la antena, que es donde se encuentra la máxima radiación. A los demás niveles se les denomina lóbulos laterales. Estos niveles se pueden observar de una manera más clara en la Figura 2-3.

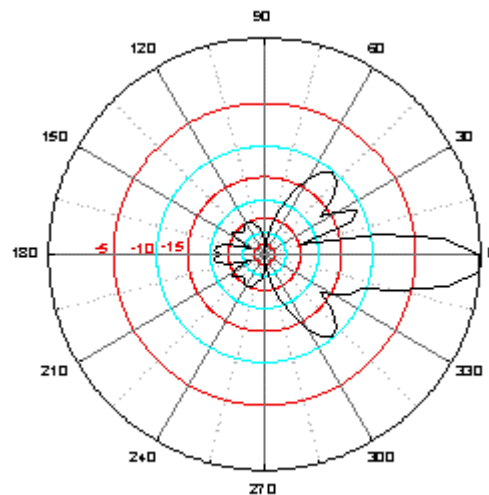


Figura 2-3. Diagrama de radiación de una antena parabólica. [6]

2.5.3 Repetidores pasivos

Los repetidores pasivos se instalan cuando es necesario cambiar la dirección de propagación y no se puede instalar un repetidor convencional. Pueden ser back-to-back, en los que una antena receptora está conectada a otra transmisora sin ningún otro elemento entre ellas o también, pueden ser reflectores planos como se observa en la Figura 2-4.

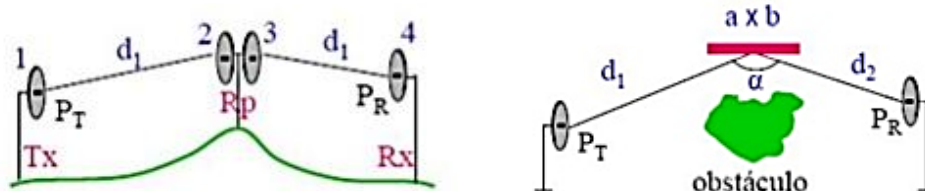


Figura 2-4. Repetidor pasivo back-to-back y reflector plano. [7]

2.6 Parámetros básicos

Son aquellos que tienen influencia en los cálculos de calidad del enlace, como por ejemplo, en la ecuación de Friis:

$$P_R(\text{dBm}) = P_T(\text{dBm}) - L_{TT}(\text{dB}) + G_T(\text{dB}) - L_b(\text{dB}) + G_R(\text{dB}) - L_{TR}(\text{dB}) \quad (2-4)$$

Donde:

- P_R y P_T son la potencia recibida y la potencia transmitida, respectivamente.
- L_{TT} y L_{TR} son las pérdidas en los circuitos de acoplamiento del transmisor y receptor, respectivamente.
- G_T y G_R son las ganancias de las antenas de transmisión y recepción.
- L_b son las pérdidas básicas de propagación.

También son parámetros a tener en cuenta el umbral de sensibilidad del receptor (P_{th}), la relación portadora a ruido (C/N), la relación energía de bit/densidad espectral de potencia (E_b/N_o) o la probabilidad de error (P_e).

2.7 Datos de propagación para el cálculo de radioenlaces

Los radioenlaces terrenales se diseñan de manera que en cada vano exista visibilidad directa y una zona de despeje adicional teniendo en cuenta la curvatura de la Tierra. Puede darse el caso de que se necesite aumentar el despejamiento debido a la existencia de obstáculos que provocan que la primera zona de Fresnel no esté despejada como mínimo al 60%. Por ello, modificar dicho despejamiento influye en colocar las antenas a una altura determinada, con lo que a mayor altura más cara resultará la instalación.

En condiciones normales de propagación y con un despejamiento adecuado, las pérdidas básicas de propagación son las de espacio libre, aunque existen una serie de atenuaciones que pueden aparecer en distintas situaciones y que provocarían desvanecimientos.

$$L_b = L_{bf} + L_{di} + L_d + L_a + L_p + L_g \quad (2-5)$$

Como se puede observar en la ecuación anterior, las pérdidas básicas se componen por: pérdidas en espacio libre (L_{bf}), de difracción (L_{di}), por desvanecimiento (L_d), por errores de apuntamiento (L_a), por precipitaciones (L_p) y por gases (L_g).

Todas estas pérdidas suponen influencia directa sobre la disponibilidad del radioenlace, por lo que se buscará minimizar sus efectos.

Para el diseño de un radioenlace se recomienda seguir los siguientes pasos:

- Elegir las alturas de las antenas tras el estudio del perfil.
- Evaluar las atenuaciones nombradas anteriormente.
- Estudio de desvanecimientos multitrayecto.
- Uso de técnicas de diversidad como protección ante dichos desvanecimientos.

2.7.1 Atenuaciones

La mayoría de las pérdidas se producen por la propagación en espacio libre. Se define como la pérdida que produce una onda electromagnética cuando se propaga en el espacio vacío y aumenta directamente con la distancia y la frecuencia como se puede ver en la siguiente ecuación.

$$L_{bf} (dB) = 32.45 + 20 \log(f(MHz)) + 20 \log(d(km)) \quad (2-6)$$

Tras conocer cómo se cuantifican las pérdidas en espacio libre, se evalúan las pérdidas por difracción, por gases y vapores atmosféricos y por precipitaciones que tendrán mucha menor proporción en las pérdidas totales.

- Pérdidas por difracción

Cuando hay algún obstáculo en un vano y éste ocupa parte del 60% de la primera zona de Fresnel que tiene que quedar despejada se producen pérdidas por difracción. Para su cálculo se tiene en cuenta la forma del obstáculo ya que, dependiendo de si se trata de un obstáculo agudo o redondeado, hace que las pérdidas por difracción varíen. El cálculo de las pérdidas por difracción se resuelve utilizando las integrales de Fresnel. Se pueden encontrar aproximaciones de los desarrollos en serie de dichas integrales en la Recomendación UIT-R P.526-14. [8]

- Pérdidas por gases y vapores atmosféricos

Las moléculas de O_2 y H_2O absorben energía electromagnética y pueden producir atenuaciones muy elevadas en ciertas frecuencias. Se evalúan para frecuencias mayores de 10 GHz mediante la expresión:

$$A_a = \gamma_a \cdot d \quad (2-7)$$

donde γ_a es la atenuación específica (dB/km) y d la distancia (km). El parámetro γ_a se desglosa en la suma de γ_o y γ_w , que son las atenuaciones específicas para el oxígeno y el vapor de agua, respectivamente.

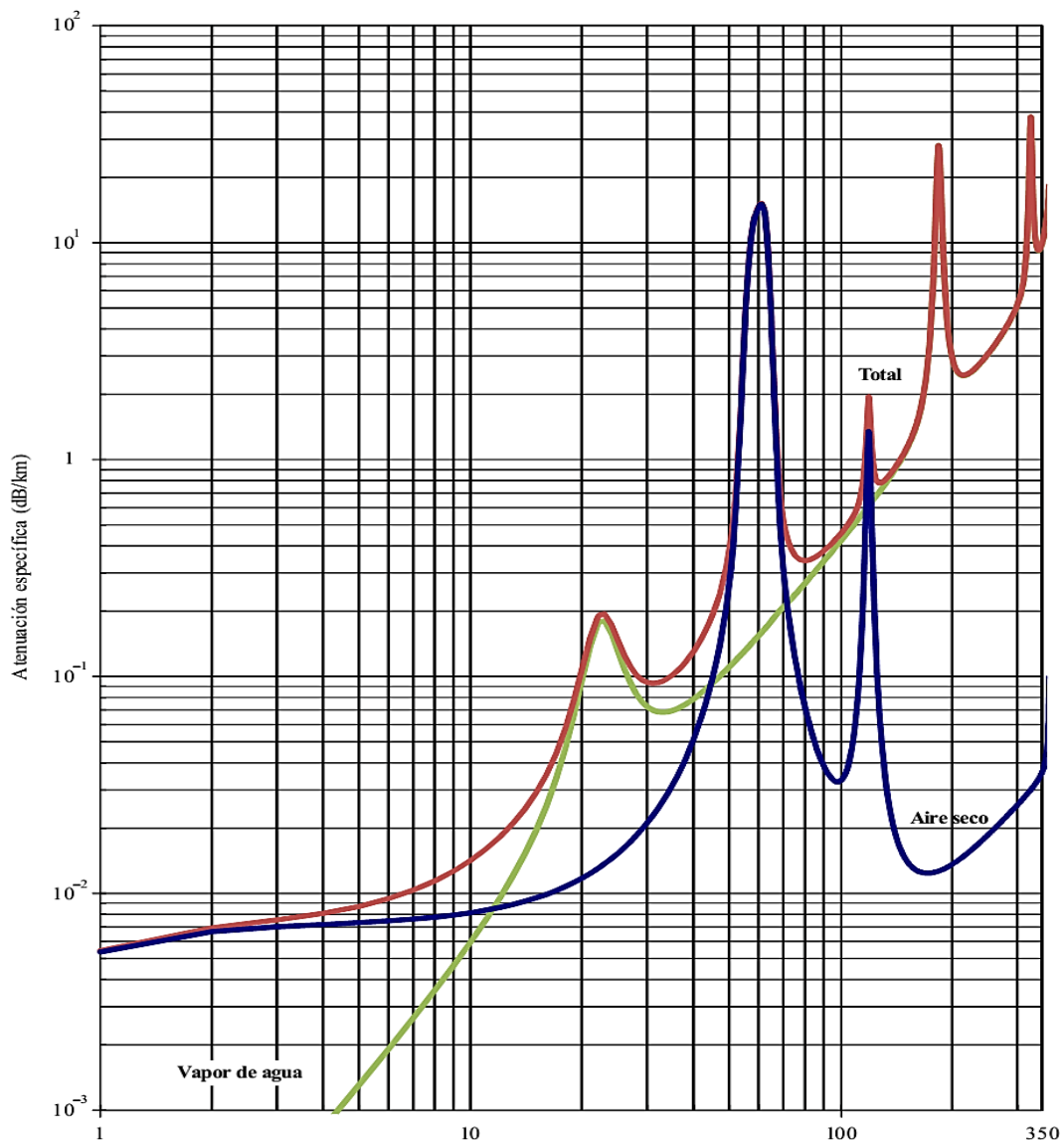


Figura 2-5. Atenuación específica debido a los gases para una presión de 1013 hPa, temperatura de 15 °C y densidad de vapor de agua de 7.5 g/m³. [9]

- Pérdidas debido a precipitaciones

Para los cálculos de indisponibilidad de radioenlaces, sólo es necesario evaluar la atenuación por lluvia excedida durante porcentajes pequeños de tiempo y para frecuencias mayores de 10 GHz. En radioenlaces terrenales hay que seguir el procedimiento establecido por la Recomendación UIT-R P.530 [10] en el que se evalúa la atenuación por lluvia durante un porcentaje de tiempo igual al $p\%$.

$$A(R, p) = \gamma(R, p) \cdot L_{ef} \quad (2-8)$$

La atenuación específica por lluvia γ (dB/km) se obtiene a partir de la intensidad de la lluvia R (mm/h) excedida en un porcentaje $p\%$ de tiempo. Dicha atenuación se calcula según la recomendación UIT-R P.838 [11]:

$$\gamma(R, p) = k \cdot R_p^\alpha \quad (2-9)$$

Las constantes k y α dependen de la frecuencia y la polarización, y se calculan mediante expresiones y tablas recogidas en la recomendación comentada anteriormente.

La longitud efectiva en km se calcula como:

$$L_{ef} = \frac{d}{1 + d/d_0} \quad (2-10)$$

donde para el 0.01% del tiempo y una intensidad de lluvia menor que 100 mm/h:

$$d_0 = 35 \cdot e^{-0.015 \cdot R_{0.01}} \quad (2-11)$$

Para $R_{0.01} > 100$ mm/h se toma $R_{0.01} = 100$ mm/h.

Conocido el valor de la atenuación excedida el 0.01% del tiempo, se puede calcular un valor de p entre 0.001% y 1%:

$$A_p = A_{0.01} \cdot 0.12 \cdot p^{-(0.546 + 0.043 \cdot \log p)} \quad (2-12)$$

La lluvia, además de atenuar la señal, produce un efecto de despolarización sobre la misma que provoca que se degrade la discriminación por polarización cruzada (XPD), lo que aumenta la interferencia cocanal.

2.7.2 Desvanecimientos multitrayecto

“Se conoce como desvanecimiento a toda disminución de la potencia recibida de señal con relación a su valor nominal. La diferencia entre este nivel nominal y el nivel recibido en condiciones de desvanecimiento se llama profundidad de desvanecimiento y se expresa en dB, mientras que al intervalo de tiempo que media entre la disminución y la recuperación del nivel nominal se le llama duración del desvanecimiento.” [1]

Los desvanecimientos se clasifican en planos y selectivos. Los desvanecimientos planos afectan por igual a todas las componentes del espectro, mientras que los selectivos producen distorsión en el espectro de la señal modulada al afectar de manera distinta a unas frecuencias que a otras. Por ello, es necesario utilizar técnicas para hacer frente a estos desvanecimientos. Los desvanecimientos multitrayecto se producen por reflexión en el suelo o reflexión en la atmósfera (debido a cambios en el índice de refracción) que hace que se creen varios caminos de propagación entre el transmisor y el receptor, por lo que se produce una interferencia entre el rayo directo y los reflejados. Aumentan con la frecuencia y la distancia.

2.7.3 Protección contra desvanecimientos: Diversidad

La diversidad consiste en la transmisión de la misma información por caminos radioeléctricos diferentes (distintos parámetros del vano como recorrido, frecuencia, ángulo o polarización), que se vean afectados de forma distinta por el desvanecimiento. En los sistemas de diversidad se recibirán dos o más señales con poca correlación mutua, que deberán procesarse para generar una única señal. Entre las ventajas de la diversidad se pueden destacar una gran reducción del porcentaje de tiempo para un desvanecimiento dado, aumento de la fiabilidad del radioenlace al existir cierta redundancia, también puede conseguirse mejor calidad de la relación señal a ruido (S/N) o en la tasa de error (BER).

Si los desvanecimientos se producen debido a atenuación por lluvia o gases atmosféricos, las técnicas de diversidad que se se exponen a continuación no solucionan este problema.

Existen varios tipos de diversidad:

- Diversidad espacial

La diversidad de espacio es una de las medidas más eficaces contra el desvanecimiento multitrayecto. Se habilitan dos trayectorias, con dos antenas de recepción separadas verticalmente, de manera que la señal transmitida por un único transmisor se reciba por dos caminos diferentes en dos antenas receptoras separadas, con la ventaja que se utiliza una sola frecuencia. En caso de avería en el transmisor, el enlace se interrumpe. Ya que los trayectos son diferentes, las pérdidas de propagación varían de uno a otro, por lo que no habrá desvanecimiento simultáneo, de modo que siempre habrá una señal útil en alguno de los dos receptores.

- Diversidad de frecuencia

La diversidad de frecuencia se debe evitar utilizar en la medida de lo posible para ahorrar espectro, ya que sería bastante costoso. Consiste en una doble transmisión y en una doble recepción utilizando frecuencias distintas, de forma que, cuando una señal se desvanece, la otra se recibe en fase con gran probabilidad. Ambas frecuencias deben estar separadas de un 2 a un 5%.

- Diversidad de trayecto

En el caso de desvanecimiento originado por precipitaciones, existe la posibilidad de realizar el enlace en paralelo recorriendo dos caminos diferentes. Exige más repetidores y emplazamientos para los mismos, por lo tanto, su uso sólo estará justificado en circunstancias excepcionales ya que el coste se dispararía, como pueden ser radioenlaces de emergencia, o en zonas con una climatología muy desfavorable.

- Diversidad de ángulo

“La diversidad de ángulo implica el uso de antenas con dos o más haces separados por pequeños ángulos en el plano vertical, o bien en antenas separadas apuntando con ángulos diferentes.” [1]

2.8 Calidad y disponibilidad de un radioenlace

El diseño de un radioenlace debe cumplir unos criterios dados de calidad y disponibilidad. La calidad de un radioenlace representa el grado para el que ese sistema está en condiciones de proporcionar el servicio para el que se ha diseñado y se expresa como la pérdida en un momento concreto de su funcionalidad debido a microinterrupciones y degradaciones ligeras y breves que producen errores en los bits transmitidos y afectan a la nitidez o claridad de la señal recibida. Los criterios de calidad especifican las degradaciones que puede sufrir la información, junto con el tiempo máximo en que no debe superarse esa degradación.

Se entiende por disponibilidad de un equipo o sistema su aptitud para desempeñar la función para el que ha sido proyectado y se cuantifica por la probabilidad de que el sistema se encuentre en condiciones de funcionamiento en un momento dado. La indisponibilidad se produce cuando la señal recibida no alcanza el nivel de calidad mínimo exigido, lo que se traduce en un aumento significativo de la tasa de error. Se define como interrupción y se puede presentar como un corte parcial o total de la señal, un ruido elevado, discontinuidades o la aparición de distorsión.

La indisponibilidad suele estar ocasionada por el mal funcionamiento de los equipos o por la lluvia, mientras que la pérdida de calidad está ocasionada por los desvanecimientos tanto plano como selectivo.

En radioenlaces, se distingue entre pérdida de servicio en un tiempo grande (indisponibilidad) y en un tiempo pequeño (calidad). Según la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones), el tiempo límite es 10 segundos. Por tanto, si la pérdida de servicio dura más de esos 10 segundos, se tiene indisponibilidad, en caso de que sea menor, pérdida de calidad. El tiempo de restablecimiento del servicio es tiempo indisponible. Como los eventos de errores que afectan a la indisponibilidad son de más de 10 segundos y el desvanecimiento multitrayecto dura algunos milisegundos, las evaluaciones de indisponibilidad y de calidad se realizan de forma independiente.

Estos parámetros se fijan como objetivos en un % del tiempo y se suelen distribuir proporcionalmente a la distancia.

Para diferenciar indisponibilidad de pérdida de calidad existen parámetros básicos que son el ES (Errored Second, algún bloque erróneo en 1 segundo), el SES (Severely Errored Second, segundos con más del 30% de bloques erróneos) y el EFS (Error Free Second, período de 1 segundo en que no hay errores de bit). Se pasa de disponible a indisponible si hay 10 SES consecutivos y se pasa de indisponible a disponible si hay 10 segundos sin SES. Los ES en estado de indisponibilidad cuentan como pérdida de calidad.

A partir de los parámetros básicos definidos previamente, se han definido los siguientes parámetros de calidad de error:

- Proporción de segundos con errores (ESR: Errored Second Ratio): Relación entre ES y el número total de segundos de tiempo de disponibilidad en un intervalo de medición.
- Proporción de segundos con muchos errores (SESR: Severely Errored Second Ratio): Relación entre SES y el número total de segundos de tiempo de disponibilidad en un intervalo de medición.

Según la recomendación G.826 de la UIT-T [12] un periodo de tiempo de indisponibilidad comienza con el primero de diez eventos SES consecutivos. Estos diez segundos se consideran parte del tiempo de indisponibilidad. Los periodos con errores de duración inferior a 10 segundos sólo intervienen en el cálculo de la calidad.

2.8.1 Evaluación de la indisponibilidad

Para evaluar la indisponibilidad de un trayecto, hay que evaluar la indisponibilidad de los equipos y la indisponibilidad por la propagación en cada vano y sumarlas.

$$U = U_E + U_p \quad (2-13)$$

Para la propagación el principal elemento que hay que tener en cuenta es la lluvia para frecuencias mayores de 10 GHz, también se tiene en cuenta los desvanecimientos multitrayecto, pero éstos son de corta duración y afectan a la calidad.

El tiempo medio en el que el equipo está indisponible es el tiempo en el que está averiado esperando a ser reparado. Si se avería de media cada MTBF (Mean Time Between Failures) y el tiempo medio de reparación es MTTR (Mean Time To Restore):

$$U_E(\%) = \frac{MTTR}{MTBF + MTTR} \times 100 \approx q \times 100 \quad (2-14)$$

El factor q puede aproximarse por:

$$q = \frac{MTTR}{MTBF} \quad (2-15)$$

Ya que $MTTR \ll MTBF$. Estos valores son dados por el fabricante en la hoja de especificaciones.

El MTTR depende de lo complicado que sea la reparación, la disponibilidad de piezas y de si hay otro equipo igual de reserva en el sistema.

Si un equipo está formado por dos subequipos con MTBF distintos ($MTBF_1$ y $MTBF_2$) y MTTR iguales, el factor q equivalente es:

$$q = \frac{MTTR}{MTBF} = \frac{MTTR}{MTBF_1} + \frac{MTTR}{MTBF_2} \quad (2-16)$$

O también se puede escribir, para obtener el MTBF equivalente:

$$MTBF^{-1} = MTBF_1^{-1} + MTBF_2^{-1} \quad (2-17)$$

En los radioenlaces que se diseñarán más adelante tendremos un solo vano y los equipos de transmisión y recepción serán los mismos. También, destacar que no tendrán reserva por lo que serán sin protección ante diversidad. Por tanto, la indisponibilidad de dicho vano, U_V , será:

$$U_V = U_1 + U_2 = 2q \times 100 \quad (2-18)$$

Donde U_1 y U_2 son la indisponibilidad del transmisor y receptor, respectivamente, aunque en este caso serán iguales.

La indisponibilidad por propagación se limita a la lluvia. El tiempo en el que habrá indisponibilidad es en el que la atenuación por lluvia A_p supera al margen M . Dicho margen está dado para un umbral que cumpla una probabilidad de error de bit y es el margen de potencia entre la potencia media que se obtiene en recepción y el umbral de recepción mínimo. Por tanto, el procedimiento será calcular el margen e igualarlo a A_p como se vio en la ecuación (2-12) en la que se expresa cómo calcular las pérdidas por lluvia excedida en un porcentaje cualquiera p comprendido entre 0.001% y 1% conociendo las pérdidas para $p = 0.01\%$. De ahí, se obtiene la probabilidad p que conformará la indisponibilidad de propagación:

$$U_p = p (\%) \quad (2-19)$$

Para frecuencias inferiores a 7 GHz la indisponibilidad debida a la lluvia no se tiene en cuenta, por lo que, la indisponibilidad total puede aproximarse por la indisponibilidad debida a equipos.

Para frecuencias superiores a 20 GHz la lluvia limitará la distancia máxima de propagación.

2.8.2 Objetivos de indisponibilidad

La Recomendación UIT-R F.1703-0 [13] establece unos objetivos de indisponibilidad para enlaces digitales, los cuales se muestran en la Tabla 2-1, usando como referencia los parámetros de error de la Recomendación UIT-R F.1668-1 [14].

Parámetros	Objetivos	
	Tramo de acceso	Tramo de corto alcance
Relación de Indisponibilidad (UR)	0.05% del tiempo	0.04% del tiempo
Intensidad de Interrupciones (OI)	100 interrupciones/año	120 interrupciones/año

Tabla 2-1. Objetivos de disponibilidad actuales.

2.8.3 Evaluación de la calidad

La evaluación de la calidad de un vano tiene como objetivo comprobar la superación de la tasa de SESR fijada como objetivo para el peor mes del año. Los SES se producen por causa del multirayecto, el cuál puede causar desvanecimiento plano o selectivo.

Para evaluar la calidad se suman los desvanecimientos tanto plano como selectivo.

$$P_{TT} = P_{TP} + P_{TS} \quad (2-20)$$

Cada uno de ellos se calcula de distinta forma:

- Desvanecimiento Plano. Se calcula la probabilidad de que el desvanecimiento sea mayor de M_3 .

$$P_{TP} = P_0 \cdot 10^{-M_3/10} \times 100 \text{ (%) } \quad (2-21)$$

Donde M_3 es el margen bruto de desvanecimiento y P_0 es el factor de aparición del desvanecimiento plano y se obtiene mediante el método de Mojoli siendo η el factor de actividad de multirayecto

$$\eta = 1 - e^{-0.2P_0^{0.75}} \quad (2-22)$$

Si el régimen binario de la transmisión es menor de 34 Mbps, sólo existirá este tipo de desvanecimiento.

- Desvanecimiento Selectivo. Sólo se calcula para capacidades medias o altas (mayores de 34 Mbps) y tiene dos métodos:
 - Método de la signatura.

Cada fabricante proporciona un valor de la signatura normalizada k , que indica como afecta un canal modelado con un multirayecto de dos rayos a su receptor según la modulación.

$$P_{TS} = \eta \cdot C \cdot P_b(1) \cdot k \cdot 2 \cdot \frac{\tau_m^2}{T_s^2} \times 100 \text{ (%) } \quad (2-23)$$

donde η es el factor de actividad de multitrayecto visto anteriormente, $P_b(1)$ es el valor de la densidad de probabilidad de b , k es la signatura dada por el fabricante y depende del receptor y del tipo de modulación, T_s es el tiempo de símbolo de la transmisión y τ_m es el valor medio de retardo.

$$\tau_m = 0.7 \cdot \left(\frac{d(km)}{50} \right)^{1.3} (ns) \quad (2-24)$$

Para el valor de $P_b(1)$ se utiliza el valor de Mojoli:

$$C \cdot P_b(1) \cdot 2 = 4.32, \quad (C = 1) \quad (2-25)$$

Como se puede observar P_{TS} no puede reducirse aumentando la potencia.

- Método del margen neto de desvanecimiento que permite calcular P_{TT} directamente.

La idea es calcularlo de la misma forma que P_{TP} , pero sustituyendo en este caso el margen bruto de desvanecimiento por el margen neto.

2.8.4 Objetivos de calidad

Los parámetros utilizados principalmente para la formulación de los objetivos de calidad son el ESR y el SESR. Los objetivos se presentan en la Recomendación UIT-R F.1668-1 [14]. Se toma como base la Recomendación UIT-T G.826 [12] sobre calidad de enlaces digitales y que contempla la división de un trayecto en tramo nacional o internacional. El tramo nacional se subdivide en tramo de acceso, corto alcance o largo alcance al igual que en los objetivos de indisponibilidad.

Parámetros	Valores objetivo		
	$R < V_p$	$1.5 \leq R \leq 5$	$5 < R \leq 15$
ESR	0.04 D	0.04 D	0.05 D
SESR	0.002 D	0.002 D	0.002 D
BBER	-	$2D \cdot 10^{-4}$	$2D \cdot 10^{-4}$

Tabla 2-2. Objetivos de calidad de error para el tramo de corto alcance y para el tramo de acceso.

En la Tabla 2-2 se definen las siguientes variables:

- R : Régimen binario en Mbps.
- V_p : Velocidad primaria en Mbps.
- D : es una constante que varía entre 0,075 y 0,085 (7,5% a 8,5%). El valor a utilizar lo fija el planificador, tomándose por ejemplo el valor más desfavorable.

Los objetivos anteriores deben interpretarse como valores a largo plazo, que han de cumplirse en el tiempo de evaluación de un mes y normalmente se evalúan para el peor caso, es decir, D será el valor más bajo posibles. También hay que añadir que para R mayores de las del cuadro la SESR se sigue calculando igual.

2.9 Interferencias

La interferencia se define como cualquier señal no deseada a la entrada del receptor que corresponde a otra comunicación y que degrada y dificulta la recepción de la señal de interés.

Es importante identificar posibles interferencias que podrían degradar la calidad del sistema al planificar un radioenlace, ya que éstas pueden provenir del propio sistema o de otros. Se evalúa con la relación portadora a interferencia (C/I) en dB.

Se pueden realizar 3 clasificaciones de las interferencias:

- Según su generación, se puede distinguir entre interferencia intrasistema o intersistema, dependiendo de si las interferencias son efectuadas por el propio sistema (debido a reutilización de frecuencias o a acoplamientos) o por otros sistemas.
- Según la posición relativa de la señal interferente respecto de la deseada: interferencia en el mismo canal o cocanal (se presenta en la misma banda de frecuencias que la señal útil) e interferencia en un canal adyacente (en una banda de frecuencias distinta).
- Según las circunstancias de propagación de las señales deseada e interferente: fuentes que comparten un trayecto común con la señal deseada o fuentes que no comparten ningún trayecto y, por tanto, no se desvanecen junto con la señal deseada.

3 SOLUCIÓN CON ICS TELECOM

Tras realizar una introducción teórica de los radioenlaces, en este capítulo se va a presentar el problema que se debe solucionar, así como el escenario en el que se trabajará y las soluciones adoptadas. Se comenzará por una presentación del software utilizado, tras ello, se planteará el diseño de los radioenlaces y seguidamente se finalizará con el desarrollo de las simulaciones y el análisis de los resultados, así como las medidas tomadas a lo largo del diseño. Para terminar, se describirán los elementos necesarios en los emplazamientos urbanos para el correcto funcionamiento del sistema y la instalación física de los equipos.

3.1 Introducción a ICS Telecom

En esta sección, se describe la herramienta con la que se trabaja para las simulaciones y análisis de los radioenlaces diseñados en este proyecto. Esta herramienta es el software profesional ICS Telecom, desarrollado por la empresa ATDI, utilizado para la planificación radio que permite modelar cualquier tipo de sistemas de radiocomunicaciones. En las siguientes subsecciones se presentan las características generales del programa.

3.1.1 Organización por capas

La información asociada a un proyecto está distribuida en capas que se superponen y pueden visualizarse individualmente como se muestra en la Figura 3-1. Estas capas se almacenan en archivos distintos y pueden ser usadas en diferentes proyectos. Un proyecto (.PRO) contiene los enlaces a dichos archivos que son utilizados para ejecutar el análisis en ICS Telecom.

Entre las capas de cartografía se destacan las más importantes:

- DEM (Digital Elevation Model) (.GEO/.RGE) contiene un valor de altimetría del suelo (cotas). Puede contener información sobre la altura de los edificios. Esta capa es obligatoria para que ICS Telecom pueda realizar el cálculo de la propagación.
- Indoor (.IDR) permite que el sistema calcule la propagación dentro de un edificio y puede sustituir a la capa DEM.
- Clutter (.SOL/.RSO) contiene información sobre el tipo de terreno y su uso, para tenerlo en cuenta en el cálculo de las atenuaciones, tráfico, etc. Permite introducir atenuaciones y/o alturas en función del tipo de terreno. Se ajusta al archivo DEM.
- Buildings (.BLG/.RBL) contiene las alturas de los edificios sobre el nivel del suelo en cada punto. Concuere perfectamente con el archivo DEM.
- Image (.IMG) contiene la imagen de fondo.

Existen otras como son la capa de cobertura (.FLD), la capa de elementos de red (.EWF), la capa de vectores (.VEC) que representa trayectos móviles o los archivos de parámetros (.PRM) en los que se guardan los parámetros de simulación y que afectan al resto de capas.

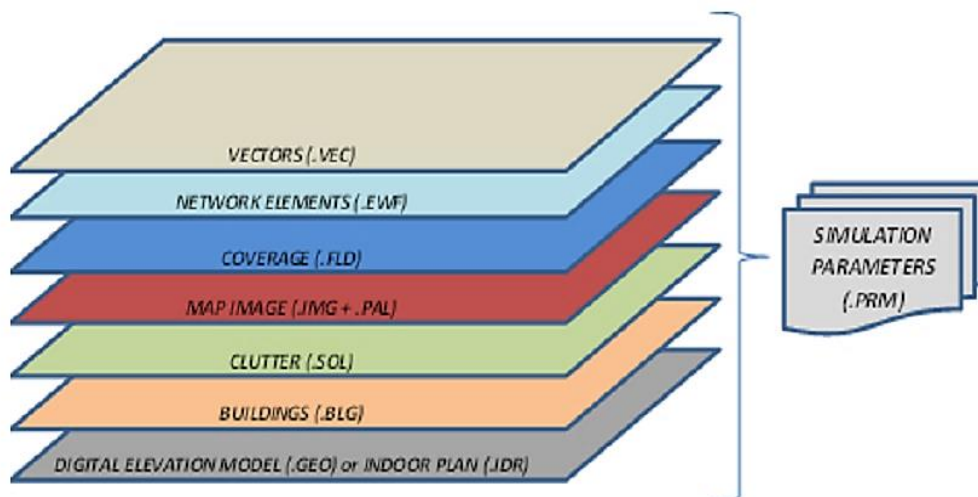


Figura 3-1. Organización en capas de ICS Telecom. [15]

En este proyecto, se cuenta con las capas Spain_20m.RGE y Spain_20m.RSO descargadas gratuitamente de la página web de ATDI [16]. También se dispone de un mapa Bing que ICS permite cargar como capa Imagen y proporciona la vista aérea de la ciudad, mostrando todos los elementos (edificios, carreteras, parques...). Con la cartografía descargada, no se dispone de mucha resolución (unos 20 metros), ya que las capas de mayor resolución son de pago. Además, no se tiene la capa de edificios, aunque en la zona que se trabajará no será de gran importancia.

Tras conocer las capas con las que se dispone, se cargan en el project manager que se abre al iniciar ICS Telecom y se crea un proyecto nuevo. Una vez cargado el proyecto, se tiene el mapa seleccionado del terreno con el que se trabajará en la pantalla principal. Dependiendo de las capas disponibles, se puede ir de una capa a otra para obtener distintos puntos de vista en el proyecto.

3.1.2 Coordenadas

Al situar el cursor sobre el mapa e ir desplazándolo sobre el terreno se observa que van cambiando las coordenadas en el mapa. Es importante tener en cuenta las coordenadas para saber en qué lugar real irán situados los elementos del proyecto para implementarlos en la realidad. Es por ello que debemos tener en cuenta dicha información y debe ser lo más exacta posible.

Puede ser que se obtengan datos de coordenadas en formato distinto del que trabaja ICS Telecom por defecto (4DMS, 4 hace referencia al origen de referencia de coordenadas WGS84 y DMS viene de Degrees, Minutes and Seconds), para lo que la herramienta incorpora un conversor de coordenadas muy útil con lo que se puede trabajar con cualquier tipo de coordenadas.

3.1.3 Parámetros generales

Antes de comenzar a añadir elementos de red en el proyecto, en este caso serían los radioenlaces, pero también pueden ser estaciones terrenales, estaciones radar, etc, es recomendable configurar los parámetros de Preferencias, en los que se pueden seleccionar parámetros de las antenas, definir geometría de cobertura, elegir el sistema de unidades preferido, etc.

También es recomendable seleccionar las propiedades de objetos (color y tipo de iconos, tamaño de etiquetas, etc), los parámetros de la capa clutter (altura y atenuación asociada a cada tipo de zona, etc) y el modelo de propagación (atenuaciones debidas a precipitaciones y gases, etc).

ICS Telecom provee un amplio conjunto de modelos de propagación que pueden ser geométricos o empíricos.

El modelo general con el que se trabaja podrá ser el geométrico, que considera:

- Las pérdidas por propagación en espacio libre.
- Pérdidas por difracción.
- Pérdidas por subtrayectorias.

El componente por difracción modela las pérdidas debido a los obstáculos en el trayecto entre el transmisor y receptor, por ejemplo, que afectan a la parte superior de la primera zona de Fresnel. Los componentes por multitrayectos reproducen las pérdidas adicionales, que pueden ocurrir debido a las alteraciones por debajo de la zona de Fresnel debajo de la línea de vista (LOS). En un modelo riguroso, estas pérdidas no corresponden con la difracción, pero se consideran en el cálculo total del enlace.

Finalmente, es posible agregar otros fenómenos adicionales como las reflexiones o las pérdidas relacionadas con el clima, como la atenuación por lluvia o gases.

La mayoría de casos para los estudios de propagación, se pueden analizar a partir de las siguientes combinaciones:

UIT-R 525 como método de propagación, Deygout 94 method como método de geometría de difracción y como método de atenuación de subruta se pueden elegir varias posibilidades cuya selección depende de la resolución y de la altura del transmisor como se muestra en la Tabla 3-1.

Resolución cartográfica	Altura del transmisor	
	<i>Menor a 50-60 m</i>	<i>Sobre 50-60 m</i>
<i>Baja (100 m)</i>	Integración bruta	Integración fina
<i>Media (50 m)</i>	Integración bruta	Integración fina
<i>Alta (5 m)</i>	Estándar	Estándar

Tabla 3-1. Método de atenuación de subruta según resolución y altura. [15]

El método estándar es el más preciso, pero requiere mayor tiempo de cálculo. Sin embargo, puede utilizarse en cualquier caso. En el proyecto, se comprobó tanto el método estándar como el método de integración bruta, siendo las diferencias de resultados entre ellos casi despreciable.

Todos estos parámetros generales se pueden guardar en un archivo con extensión .PRM, para poder ser utilizados en distintos proyectos.

3.2 Diseño de los radioenlaces

En esta sección, se mostrarán las características principales indispensables para realizar las simulaciones con ICS Telecom como la ubicación de las estaciones base, la banda de frecuencias a utilizar o los equipos y antenas que se usarán y están disponibles en el mercado. Sólo con una buena planificación del enlace puede conseguirse evitar las interferencias y los desvanecimientos de la señal, alcanzando una alta disponibilidad en el sistema.

3.2.1 Planteamiento del problema

En todos los radioenlaces debe existir visión directa entre las antenas de los extremos. Es decir, la propagación de la señal entre las antenas transmisora y receptora debe hacerse a través de un camino directo sin obstáculos. Existirá visión directa cuando desde el emplazamiento de una de las antenas pueda verse la otra.

En el caso de enlaces de corto alcance, como es el caso, la visión directa puede limitarse simplemente a una cuestión de qué altura deben tener las torres o mástiles donde se sitúan las antenas, aunque resulta más sencillo la búsqueda de edificios altos que tienen buena visibilidad y, por tanto, son lugares ideales para la instalación de estaciones base.

En este trabajo se va a realizar el diseño de dos radioenlaces que aumente la cobertura en la zona de atracciones de la Feria de Sevilla, zona resaltada en la Figura 3-2. Para ello, se utilizarán las dos estaciones de telefonía móvil pertenecientes al operador más cercanas a dicha zona, y éstas se encuentran en la avenida República Argentina, nº 58 y en la calle Virgen de Luján nº 45 como se señala en la Figura 3-3. Las coordenadas y alturas de estos emplazamientos, así como sus extremos, se muestran en las tablas 3-1 y 3-2 respectivamente. Estos datos han sido obtenidos de la página del Ministerio de Industria, Comercio y Turismo en el que se ubican las estaciones de telefonía móvil. [17]



Figura 3-2. División de la Feria de Sevilla en zona de atracciones o de casetas.



Figura 3-3. Ubicación de estaciones de telefonía móvil.

En cuanto a la ubicación de los otros extremos de cada radioenlace, se analiza la distribución de las atracciones y se fijan unos objetivos de altura mínimos para elegir las dos más adecuadas. Por ello, se elegirán las atracciones de Ratón Vacilón señaladas en la Figura 3-4, que cuentan con una altura de aproximadamente 20 metros que permite visibilidad directa y una estructura que facilita el ensamblado de las antenas. Ambos radioenlaces se deberán diseñar de modo que dispongan de una alta disponibilidad, seguridad, fiabilidad y capacidad.

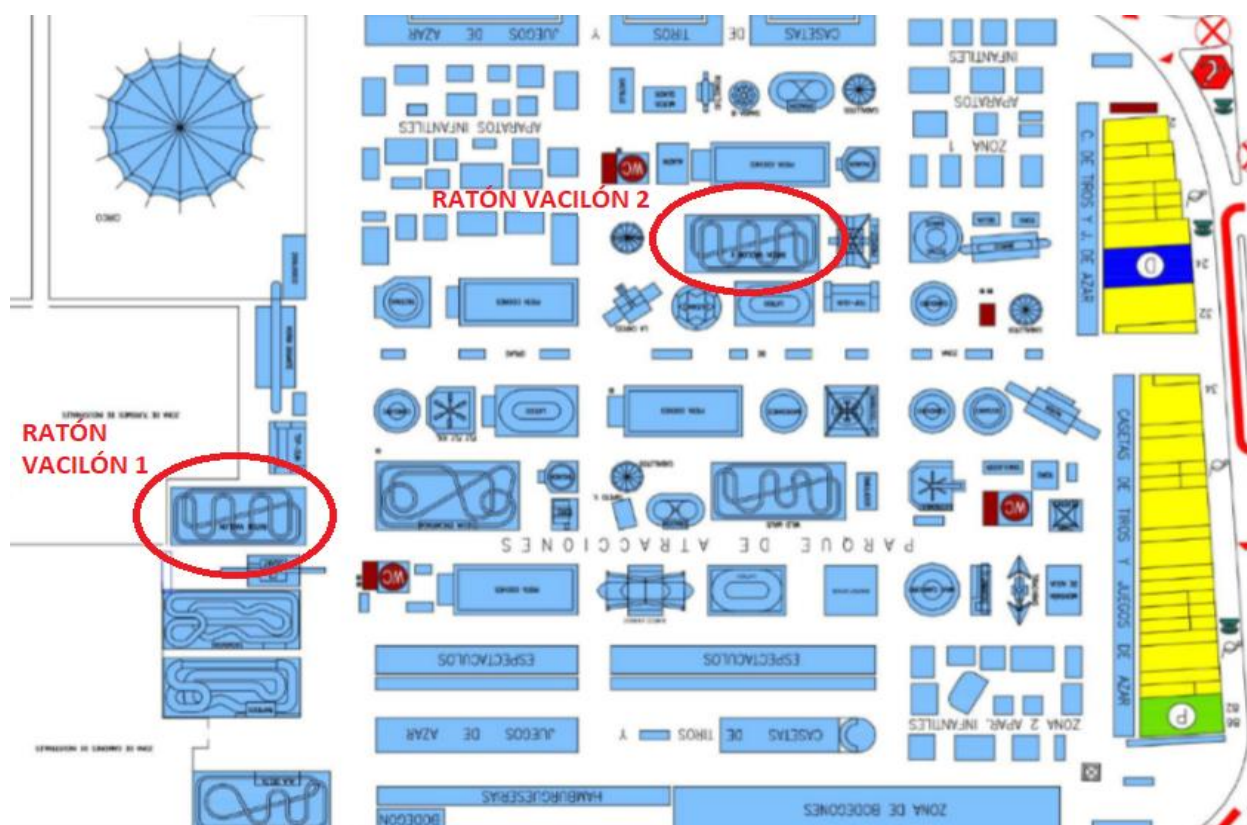


Figura 3-4. Distribución de atracciones. [18]

El primer paso será estudiar el perfil de los radioenlaces, para ver si hay visibilidad directa o en cambio será necesario el uso de diferentes vanos. Antes de realizar dicha comprobación, viendo un mapa cualquiera podemos asegurar que existirá visión directa en ambos, ya que la distancia entre transceptores es muy corta. El primer radioenlace tiene una longitud de 700 metros, mientras que el segundo mide 460 metros. Hay que tener en cuenta que las antenas se situarán sobre un mástil de 3 ó 4 metros en las azoteas de los edificios y en las atracciones se ensamblarán a una altura de 10 metros para evitar sabotajes.

Ambos perfiles, los cuáles se muestran en las figuras 3-5 y 3-6, se han obtenido de Google Earth. Cabe mencionar que, aunque estos perfiles son muy precisos, sólo deben servir para considerar la posibilidad de que el enlace pueda ser viable o no. Es necesario realizar la comprobación en campo en ambos emplazamientos para asegurar la visión directa entre ellos. Debido a que no se tenía la capa de edificios en ICS Telecom, se han tenido que buscar alternativas como ésta que facilitara un perfil más aproximado del terreno.



Figura 3-5. Perfil del radioenlace entre República Argentina y Ratón Vacilón 1.

Estación	Latitud	Longitud	Altura
República Argentina	37°22'35,1''N	6°0'19,8''O	40 m
Ratón Vacilón 1	37°22'12,5''N	6°0'26,6''O	5 m

Tabla 3-2. Coordenadas y altura de los emplazamientos del primer radioenlace.

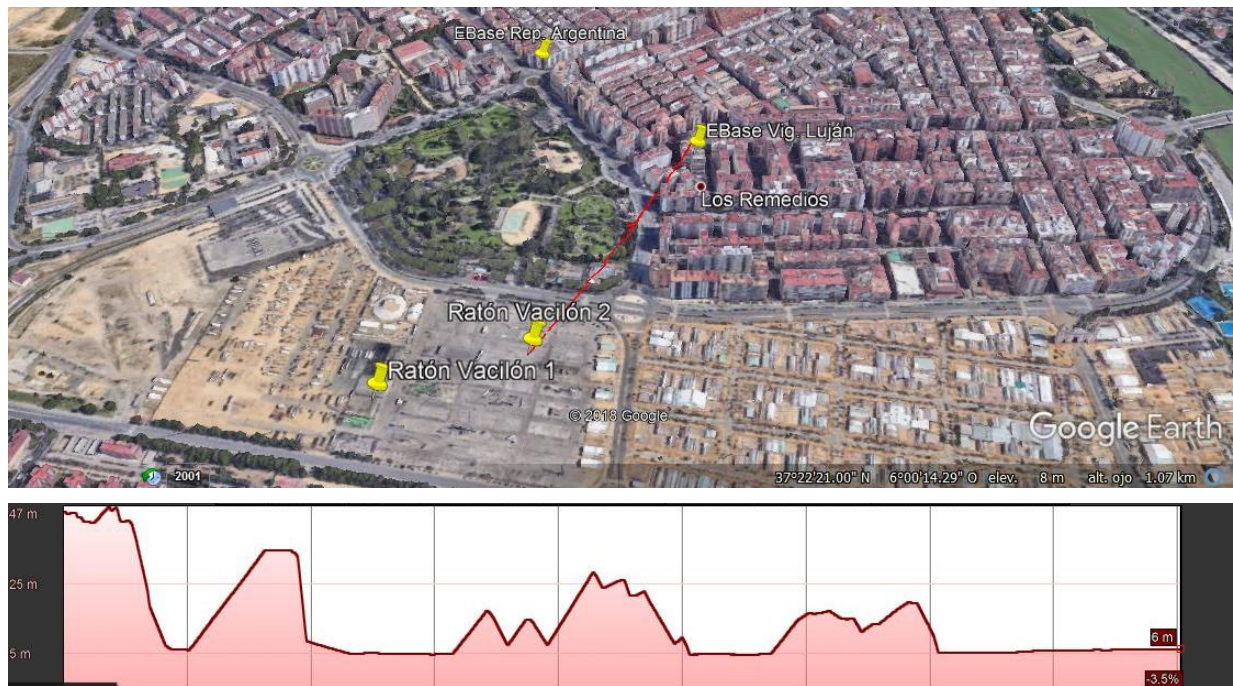


Figura 3-6. Perfil del radioenlace entre Virgen de Luján y Ratón Vacilón 2.

Estación	Latitud	Longitud	Altura
Virgen de Luján	37°22'27,5''N	6°0'9,6''O	47 m
Ratón Vacilón 2	37°22'14,8''N	6°0'19''O	5 m

Tabla 3-3. Coordenadas y altura de los emplazamientos del segundo radioenlace.

Además de la zona de visibilidad directa, hay que tener en cuenta una zona de despeje adicional, la zona de Fresnel. Se trata de unos elipsoides concéntricos que rodean al rayo directo de un enlace radioeléctrico y que quedan definidos a partir de las posiciones de las antenas transmisora y receptora. Tienen la propiedad de que una onda que, partiendo de la antena transmisora, se reflejara sobre la superficie del elipsoide y después incidiera sobre la antena receptora, habría recorrido una distancia superior a la recorrida por el rayo directo en múltiplos de media longitud de onda. Es decir, la onda reflejada se recibiría con un retardo respecto al rayo directo equivalente a un desfase múltiplo de 180° . Por tanto, la primera zona de Fresnel se caracteriza por el volumen interior al elipsoide con diferencia de distancias igual a una semilongitud de onda o diferencia de fases de 180° . Luego posibles reflexiones cerca del borde de la primera zona de Fresnel pueden causar atenuación, ya que la onda reflejada llegaría a la antena receptora en oposición de fase. [19]

Por tanto, tras conocer la altura de los emplazamientos y sabiendo que las antenas en los edificios van sobre un mástil, se puede determinar ya la altura a la que se encontrarán dichas antenas sobre el nivel del suelo asegurando que la primera zona de Fresnel quede libre de obstáculos. La antena situada en República Argentina estará a 43 metros de altura, mientras la situada en Virgen de Luján se encontrará a 50 metros. Las antenas situadas en las atracciones tendrán una altura de 10 metros sobre el suelo.

A continuación, se presentan las imágenes de las ubicaciones reales de los emplazamientos obtenidas de un TFG realizado por un compañero hace un par de años en el que también comprueba la visibilidad directa entre los extremos de cada radioenlace (figuras 3-7 a 3-10). [20]



Figura 3-7. Ubicación de la estación situada en República Argentina para el primer radioenlace.



Figura 3-8. Ubicación de la estación situada en una de las atracciones Ratón Vacilón para el primer radioenlace.



Figura 3-9. Ubicación de la estación situada en Virgen de Luján para el segundo radioenlace.



Figura 3-10. Ubicación de la estación situada en otra de las atracciones Ratón Vacilón para el segundo radioenlace.

3.2.2 Elección de la banda de frecuencias

Tras situar las estaciones base, se debe elegir la banda de frecuencias que se utilizará entre las mencionadas en la sección 2.3, que son asignadas por el CNAF, el cuál recoge el uso de cada banda de frecuencia. [21]

Se deberá elegir una banda de frecuencias que permita transmitir con una alta capacidad, gran ancho de banda y que no se vea muy afectada por las distintas atenuaciones, como las pérdidas por lluvia, por vegetación o por atenuación atmosférica, aunque esto último será muy difícil de evitar ya que dichas atenuaciones aumentan con la frecuencia. Como se dijo en el capítulo 2, las bandas de frecuencias más bajas están saturadas, por lo que se usan bandas de frecuencias mayores de 10-11 GHz.

En la medida de lo posible se emplearán frecuencias de portadora altas para los radioenlaces, dado que a frecuencias bajas aumenta el efecto del desvanecimiento multitrayecto y la señal tiene mayor alcance y las bandas son limitadas, por lo que sólo se utilizarán si existe una distancia grande entre estaciones y no se obtenga solución por aumento del diámetro de las antenas o de la potencia transmitida.

Como el trayecto es muy corto, las pérdidas variarán muy poco eligiendo una frecuencia u otra, pero de todas formas, existe una relación entre la longitud del vano (en este caso, sólo existe un vano para cada radioenlace) con la frecuencia a asignar como se puede observar en la Tabla 3-4.

DISTANCIA	BANDA DE FRECUENCIA
0-3.5 Km	38 GHz
3.5-9.5 Km	26 GHz
10-15 Km	18 GHz
16-32 Km	13 GHz

Tabla 3-4. Banda de frecuencias según distancia. [19]

Se usará la banda de 38 GHz junto con un ancho de banda de 28 MHz (este último dato dado por el operador), ya que hay que tener en cuenta que, a mayor capacidad deseada del radioenlace, mayor ancho de banda se usará. Cada operador tiene asignado por el Ministerio unos rangos dentro de estas bandas de frecuencias, lo que hace que exista un número de canales reducidos en las diferentes bandas.

Dicha banda tiene una canalización de 37,0 - 39,5 GHz, la cuál se muestra en la Figura 3-11, para ser utilizada por el servicio fijo (SF) de acuerdo a la Recomendación UIT-R F.749-3. [22]

En ella, se definen los siguientes términos:

- F_n = frecuencia de cada radiocanal de la mitad inferior de la banda.
- F'_n = frecuencia de cada radiocanal de la mitad superior de la banda.
- F_r = frecuencia de referencia: 38248 MHz.

Las frecuencias (MHz) de los distintos radiocanales, se expresan mediante las relaciones siguientes según el paso de canalización:

$$\begin{aligned}
 & \left. \begin{aligned} F_n &= F_r - 1246 + 112n \\ F'_n &= F_r + 14 + 112n \end{aligned} \right\} \begin{aligned} &\text{para pasos de 112 MHz} \\ &n = 1, \dots, 10 \end{aligned} \\
 & \left. \begin{aligned} F_n &= F_r - 1218 + 56n \\ F'_n &= F_r + 42 + 56n \end{aligned} \right\} \begin{aligned} &\text{para pasos de 56 MHz} \\ &n = 1, \dots, 20 \end{aligned} \\
 & \left. \begin{aligned} F_n &= F_r - 1204 + 28n \\ F'_n &= F_r + 56 + 28n \end{aligned} \right\} \begin{aligned} &\text{para pasos de 28 MHz} \\ &n = 1, \dots, 40 \end{aligned} \\
 & \left. \begin{aligned} F_n &= F_r - 1197 + 14n \\ F'_n &= F_r + 63 + 14n \end{aligned} \right\} \begin{aligned} &\text{para pasos de 14 MHz} \\ &n = 1, \dots, 80 \end{aligned} \\
 & \left. \begin{aligned} F_n &= F_r - 1193,5 + 7n \\ F'_n &= F_r + 66,5 + 7n \end{aligned} \right\} \begin{aligned} &\text{para pasos de 7 MHz} \\ &n = 1, \dots, 160 \end{aligned} \\
 & \left. \begin{aligned} F_n &= F_r - 1191,75 + 3,5n \\ F'_n &= F_r + 68,25 + 3,5n \end{aligned} \right\} \begin{aligned} &\text{para pasos de 3,5 MHz} \\ &n = 1, \dots, 320 \end{aligned}
 \end{aligned}$$

En estas condiciones la separación Tx/Rx es de 1260 MHz.

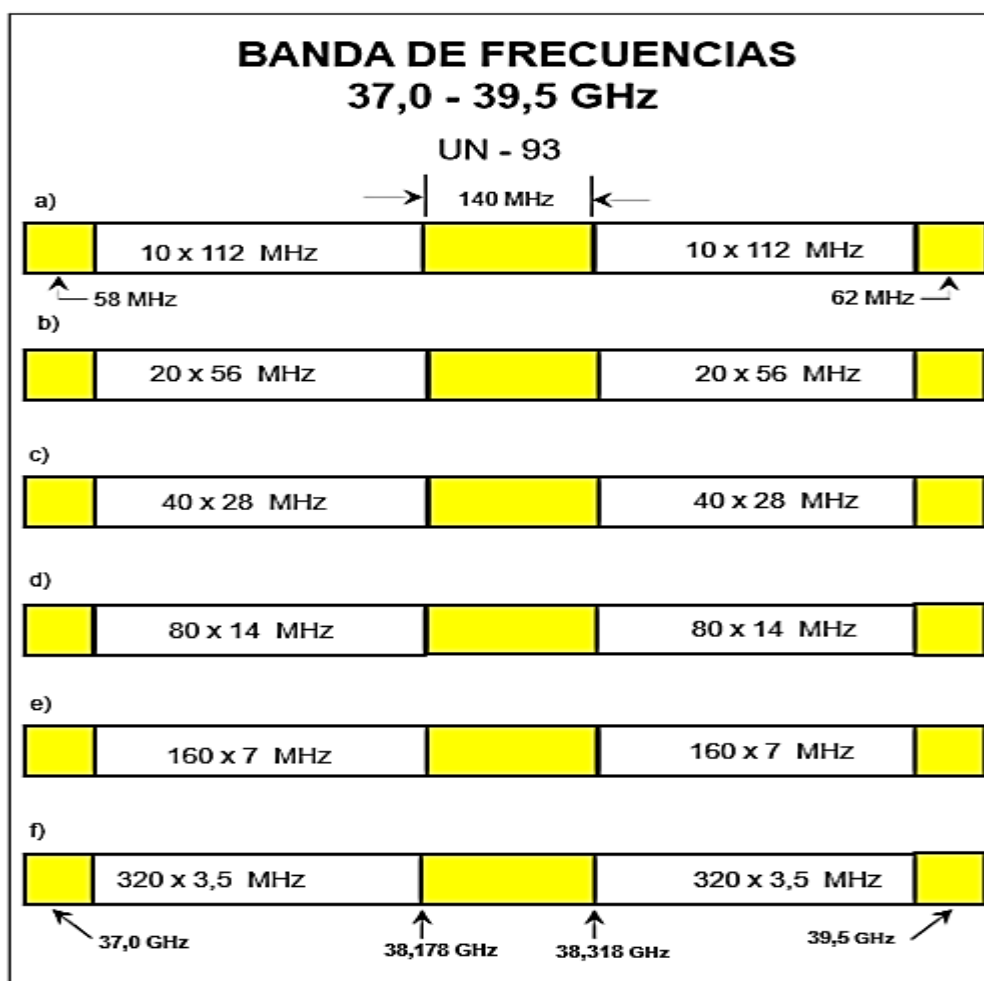


Figura 3-11. Canalizaciones de la banda de 38 GHz. [23]

Dentro de la banda de frecuencias se eligieron las frecuencias de transmisión y recepción de cada estación base de los radioenlaces.

Para el primer radioenlace que une los emplazamientos situados en República Argentina y el Ratón Vacilón 1 se usarán las frecuencias mostradas en la Tabla 3-5 siguiendo las relaciones anteriores.

	República Argentina	Ratón Vacilón 1
Frecuencia de transmisión	37,072 GHz	38,332 GHz
Frecuencia de recepción	38,332 GHz	37,072 GHz

Tabla 3-5. Frecuencias utilizadas en el primer radioenlace.

Para el segundo radioenlace se usan las frecuencias del radiocanal adyacente para evitar interferencias, mostradas en la Tabla 3-6.

	Virgen de Luján	Ratón Vacilón 1
Frecuencia de transmisión	37,100 GHz	38,360 GHz
Frecuencia de recepción	38,360 GHz	37,100 GHz

Tabla 3-6. Frecuencias utilizadas en el segundo radioenlace.

Si se tuvieran que usar varios vanos por radioenlace al no existir visibilidad directa entre los extremos de cada uno y se quieren usar las mismas frecuencias para cada sentido de la transmisión, se cambia la polarización de la onda en cada vano para reducir al mínimo los efectos de las posibles interferencias que en este caso serían interferencias cocanal. Por lo tanto, se usaría en un vano polarización vertical, en el siguiente horizontal y así sucesivamente en el resto de vanos.

3.2.3 Búsqueda y elección de equipos y antenas

En un radioenlace se deberá transmitir la mínima potencia que haga viable el radioenlace y, por tanto, será el equipo transceptor el que fije la potencia de transmisión.

Con respecto a equipos de transmisión, en el mercado hay varios fabricantes que proporcionan las hojas de especificaciones en su web, para poder conocer los parámetros necesarios para la simulación de los radioenlaces. Se ha optado por el equipo Alcatel-Lucent 9500 Microwave Cross-Connect cuyas características se han podido consultar en el datasheet proporcionado por Alcatel. [24]

A la hora de fijarse en las características de los equipos, hay que tener en cuenta la elección de la modulación, y ésta irá en función de la capacidad a la que se quiera diseñar el radioenlace. En este caso, tanto el ancho de banda como la capacidad vendrán dados por el operador. El ancho de banda será de 28 MHz como se comentó anteriormente y la modulación elegida [19] puede ser según la capacidad:

- QPSK para 42 Mbps
- 16QAM para 84 Mbps
- 32QAM para 108 Mbps
- 64QAM para 133 Mbps
- 128QAM para 157 Mbps
- 256QAM para 183 Mbps

Como la capacidad requerida para cumplir las especificaciones es de 108 Mbps, la modulación elegida será 32QAM.

Entre las características principales de este equipo en las condiciones dadas previamente respecto a banda de frecuencias, ancho de banda y modulación se encuentra la potencia transmitida de 15 dBm, el umbral de recepción para una BER de 10^{-6} de -72.5 dBm y para una BER de 10^{-3} es de -73.5 dBm o la tasa bruta de bits que es de 116.6 Mbps.

Con respecto a las antenas, los tamaños típicos de los diámetros son: 0.2 m, 0.3 m, 0.6 m, 0.9 m, 1.2 m y 1.8 m de diámetro. Las antenas de diámetro 0.2 m, 0.3 m y 0.6 m no tienen problemas en ningún tipo de emplazamiento ni por parte del operador ni por el propietario, mientras que las de mayor tamaño tienen que tener el visto bueno del operador y del propietario del emplazamiento.

La empresa Commscope anteriormente Andrew, tiene en su web oficial información sobre antenas de todas las frecuencias en las bandas licenciadas. [25]

Para la banda de 38 GHz se encuentran disponibles las siguientes antenas mostradas en la Tabla 3-7:

	VHLP200-38	SHP1-38/B	VHLP1-38/B	SHP2-38/B	VHLP2-38/C
Diámetro (m)	0.2	0.3	0.3	0.6	0.6
Polarización	Única	Única	Única	Única	Única
Ganancia (dBi)	34.5	40.1	40.1	45.2	45.2

Tabla 3-7. Principales características de las antenas de la empresa Commscope.

Para los radioenlaces de este proyecto, debido a que ambos trayectos son muy cortos, conviene usar antenas del menor diámetro posible y baja ganancia, que cumplirán los objetivos y disminuirán considerablemente el coste, el espacio utilizado, el peso y el nivel de interferencias que provocan en radioenlaces vecinos. Aunque a mayor tamaño, mejor serán las características del vano al tener más potencia por lo que a su vez es más robusta en calidad y disponibilidad.

También, se ha centrado la búsqueda en que las antenas tengan polarización única, ya que la dual se usa para trayectos largos englobada en la tecnología XPIC (Cancelación de interferencia contrapolar) que permite mejorar la relación SNR en el receptor.

Tras hacer unas primeras pruebas con las distintas antenas, se observa que con la antena VHLP200-38 [26] se cumplen los objetivos de potencia recibida, disponibilidad... Este modelo de antena se encuentra cargado en el software utilizado con todas sus características, por lo que, al seleccionarla, el programa sabe cuáles son sus parámetros que se usarán en la configuración.

3.3 Simulaciones y análisis

En este diseño habrá que buscar una solución que proporcione una alta disponibilidad y será necesario un buen margen ante desvanecimientos para que éstos no influyan en las prestaciones del radioenlace. También habrá que tener en cuenta que las posibles interferencias no afecten gravemente al rendimiento del sistema.

En estos análisis, se utilizarán las características del equipo mencionadas en la sección 3.2.3 y la antena VHLP200-38 cargada en el software. También destacar que todas las estaciones estarán transmitiendo a la vez.

3.3.1 Análisis de cobertura

Para hacer un análisis de cobertura con las características que interesan, se puede fijar un umbral de cobertura y un área de cálculo alrededor de cada transmisor sobre el que se hará dicho análisis. Todas las áreas del terreno que tengan un umbral de cobertura inferior al establecido no se mostrará en los cálculos, por lo que se suele indicar un umbral bastante pequeño cuando se quieren observar todos los valores de intensidad de campo/potencia de señal en el terreno. También se puede usar un umbral predefinido o incluso, desde las estaciones.

En este caso, se ha optado por utilizar el umbral de recepción de cada estación y un área de cobertura de 5-km para que los resultados ocupen la mayor parte de la pantalla.

A continuación, se presentan las figuras 3-12 y 3-13 relacionadas con el estudio de cobertura y que son consideradas de mayor importancia.

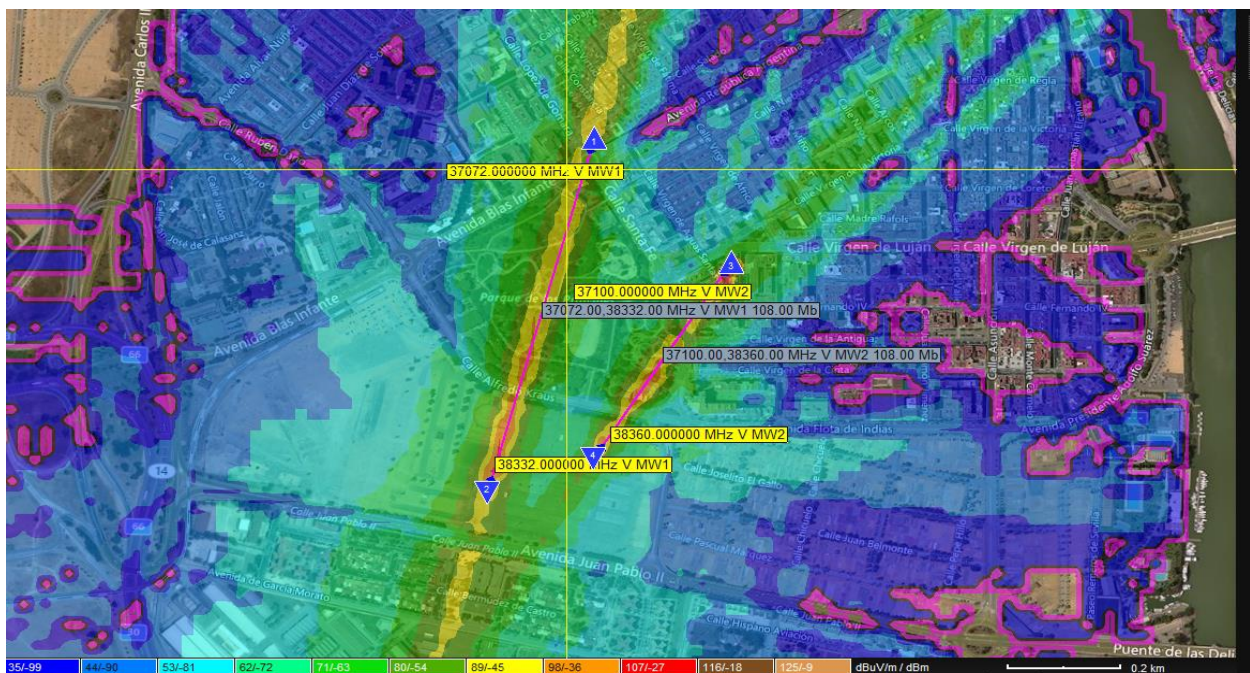


Figura 3-12. Nivel de intensidad de campo/potencia de señal.

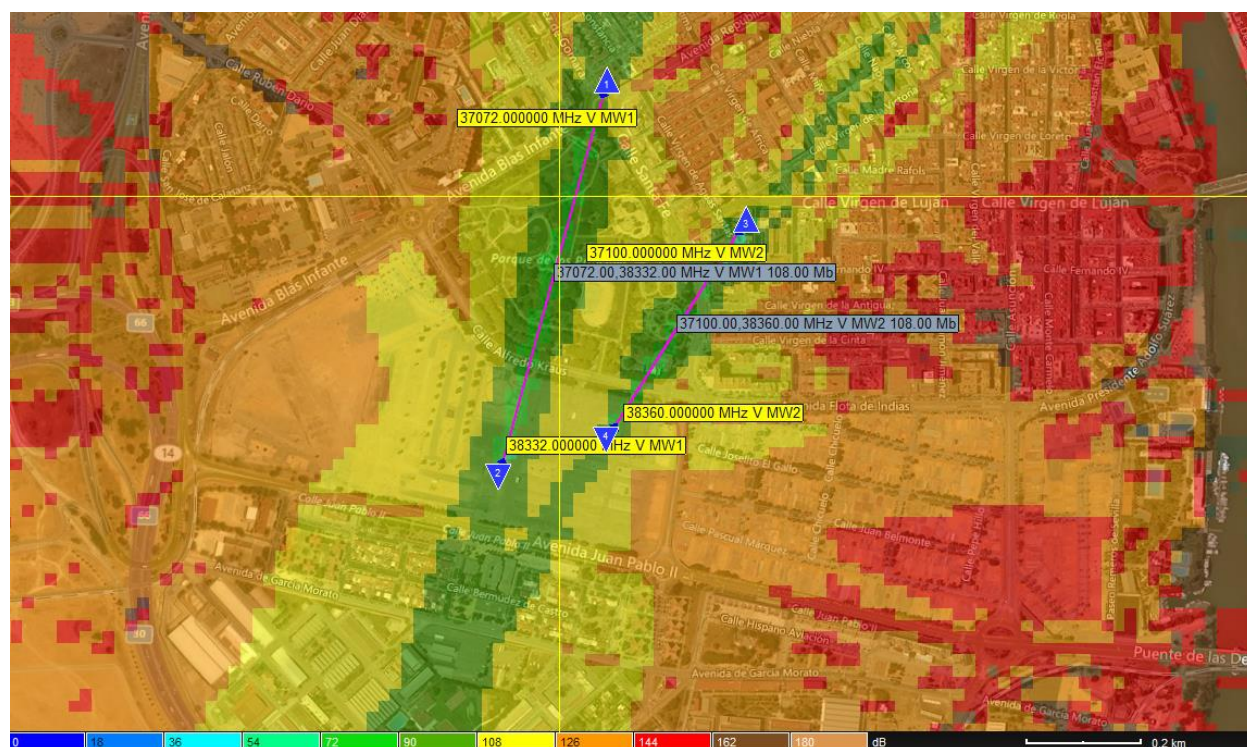


Figura 3-13. Pérdidas en espacio libre.

Como se puede observar, los mayores niveles de campo o potencia de la señal se encuentran en el trayecto entre un extremo y otro de cada radioenlace, debido a la alta directividad de las antenas.

Lo contrario ocurre al analizar las pérdidas en espacio libre, ya que en las zonas donde existe un nivel de señal alto significa que las pérdidas son más pequeñas. Esto se debe a que dependen de la frecuencia utilizada y de la distancia a las estaciones (Ecuación 2-6). Por eso, al estar utilizando frecuencias muy parecidas, lo que más influye en la diferencia entre unas zonas u otras es la distancia.

3.3.2 Análisis de disponibilidad y calidad

La indisponibilidad se mide en el porcentaje de minutos al año, en el que por fallos de equipos o la incidencia de la lluvia, el sistema va a estar sin funcionar. En el caso de la calidad se mide en SESR que se define como el porcentaje de segundos al mes en el que el sistema va a estar sin funcionar, pero debido a desvanecimientos. Para analizar tanto la indisponibilidad como la calidad se recurrirá a los objetivos establecidos por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) en sus recomendaciones UIT-R F.1703 [13] y UIT-R F.1668-1 [14].

Para calcular la indisponibilidad es necesario calcular la indisponibilidad debida a la lluvia. Para ello, ICS Telecom obtiene la tasa pluviométrica de la zona, gracias a la cartografía de la que dispone, así como conoce las constantes k y α horizontales y verticales, las cuáles dependen de la frecuencia y se pueden obtener de la recomendación UIT-R 838 [11].

Margen de radioenlace

Desde	A	Ident.	Margen dB	PR dBm	Modo	Gan. req. (dB)	Fiab. (%)	Corte	Modul.	Kbits/s
1	2	MW1	31.64	-40.86	LOS	-11.64	99.999690	2	F: 32-QAM	108000.00
2	1	MW1	31.35	-41.15	LOS	-11.35	99.999629	2	F: 32-QAM	108000.01
3	4	MW2	35.33	-37.17	LOS	-15.33	99.999918	0	F: 32-QAM	108000.00
4	3	MW2	35.04	-37.46	LOS	-15.04	99.999898	1	F: 32-QAM	108000.01

Total reliability BER 10-6 (): 99.999134 - Outage time (mn): 5

Total reliability+ BER 10-6 (): 99.994813 - Outage time+ (mn): 27

Figura 3-14. Disponibilidad del sistema incluyendo tiempo de interrupción.

Margen de radioenlace

Desde	A	Ident.	Margen dB	PR dBm	Modo	Gan. req. (dB)	Fiab. (%)	Corte	Modul.	Kbits/s
1	2	MW1	31.64	-40.86	LOS	-11.64	99.999990	0	F: 32-QAM	108000.00
2	1	MW1	31.35	-41.15	LOS	-11.35	99.999990	0	F: 32-QAM	108000.01
3	4	MW2	35.33	-37.17	LOS	-15.33	99.999990	0	F: 32-QAM	108000.00
4	3	MW2	35.04	-37.46	LOS	-15.04	99.999990	0	F: 32-QAM	108000.01

Total reliability BER 10-6 (): 99.999960 - Outage time (mn): 0

Total reliability+ BER 10-6 (): 99.999960 - Outage time+ (mn): 0

Figura 3-15. Disponibilidad del sistema sin incluir tiempo de interrupción.

En la figura 3-14 se expresa la indisponibilidad a lo largo de un año teniendo en cuenta la lluvia y se incluyen el número de cortes y el tiempo de interrupción en minutos que se produce en el servicio (Outage time), diferenciándose dos casos: el mejor tiene una mayor disponibilidad y un tiempo de interrupción menor, mientras que en el peor caso ocurre lo contrario. En la Figura 3-15 también se expresa la indisponibilidad, pero sin tener en cuenta la lluvia y como se observa no existe diferencia entre el mejor y peor caso.

En las imágenes que van desde la Figura 3-16 a la Figura 3-23, se presentan los perfiles de los que se disponen en el software, que como se puede observar son bastantes inexactos ya que no incluyen la capa de edificios y tienen una resolución de 20 metros. Para compensar esta poca precisión, se ha aumentado la altura de las antenas sobre la capa clutter para poder llegar a la altura real de dicha antena teniendo en cuenta los edificios. Tanto en el perfil del primer radioenlace como del segundo, se tiene visión directa, ya que, aunque en el segundo radioenlace existe un edificio delante del que se encuentra la estación de telefonía, debido a la altura de este último y a que la antena se encuentra en un mástil se evita el problema de la visibilidad. Tras los perfiles se adjuntan los informes de cada uno en los que se incluyen potencias transmitidas y recibidas, frecuencias, polarizaciones, ganancias, atenuaciones, disponibilidad, tiempos de corte...

“La señal recibida en el receptor debe estar entre -35 y -50 dBm para asegurar la calidad e integridad de la misma, así como del resto de radioenlaces con los que comparte espectro. Una señal recibida demasiado alta podría crear interferencias a otros radioenlaces” [19]. Si se observa el parámetro PR en las capturas de los perfiles, se ve que se sitúa en este rango, pero si existe lluvia la potencia de señal disminuye a alrededor de -50 dBm, por lo que la calidad disminuirá.

El margen (diferencia entre la potencia recibida y el umbral en el que se corta la comunicación) debe ser superior a 15 dB dentro de las bandas de 38 GHz y 26 GHz y superior a 23 dB para las de 18 GHz y 13 GHz [19]. En estos casos, el margen es bastante mayor al límite establecido.

En teoría el margen de desvanecimiento ha de ser mayor para modulaciones de más nivel que para las de menor nivel para que en todas se reciba más o menos la misma potencia. En la práctica, para modulaciones de menos niveles, el margen de desvanecimiento es mayor, ya que se le da mayor importancia a no dejar que se terminen cayendo servicios por un desvanecimiento acusado.

Radioenlace República Argentina-Ratón Vacilón 1

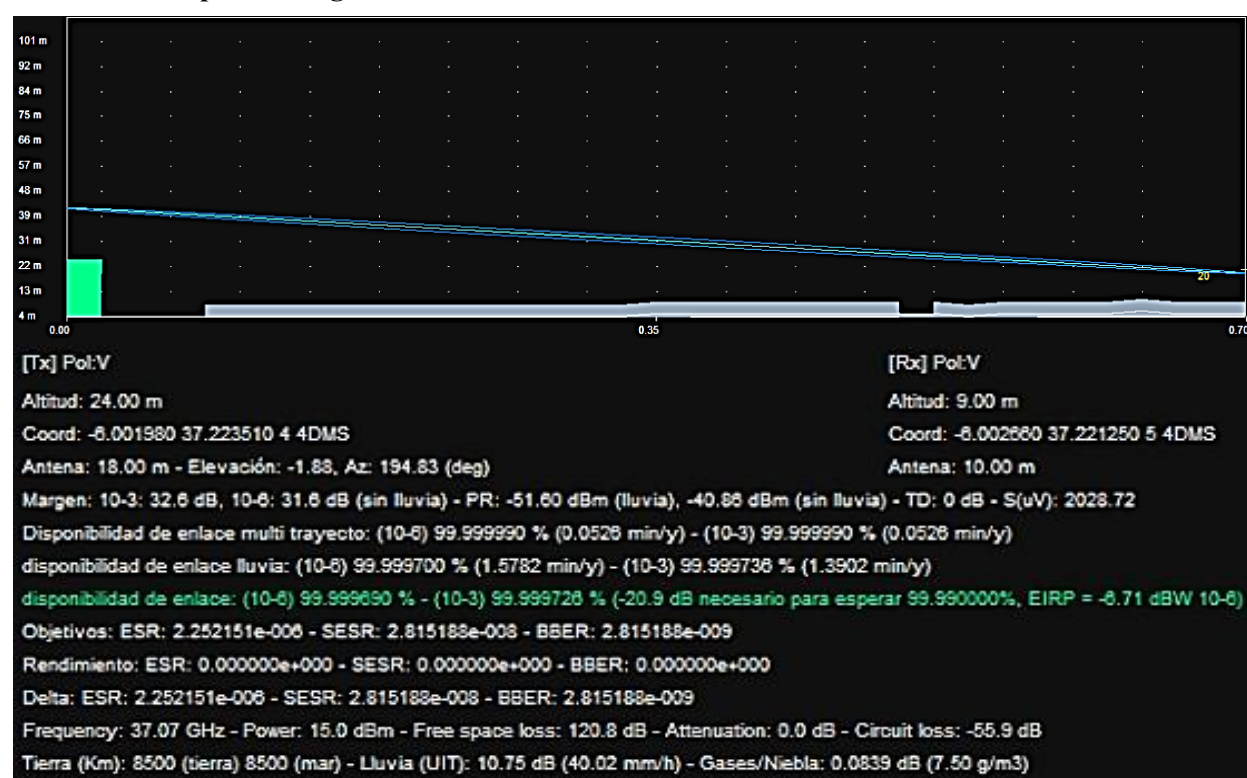


Figura 3-16. Perfil del radioenlace República Argentina-Ratón Vacilón 1.

BALANCE DE PERFIL

Estación A	Estación B
República Argentina	Ratón Vacilón 1
24.00 metros (MDT altitud+clutter)	9.00 metros (MDT altitud+clutter)
-6.001980 37.223510 4 4DMS	-6.002660 37.221250 5 4DMS
Angulo-H 194.83 grados	Angulo-H 14.83 grados

Distance between stations: 0.70 Km

Ratio bits: 108000.00 Kbps

Ident: MW1

Estación A	Unidades
Equipo radioenlace	atel-Lucent 9500 Microwave Cross-Connect
Potencia	15.00 dBm
Altura de antena	18.00 Longitud (m)
Diámetro	0.22 Longitud (m)
Ganancia	34.50 dB
Cable de arranque - MW	0.00 Longitud (m)
Alimentador	0.00 Longitud (m)
Cable de arranque - Antena	0.00 Longitud (m)
Pérdidas Tx	2.00 dB

Estación B	Unidades
Equipo radioenlace	atel-Lucent 9500 Microwave Cross-Connect
Potencia	15.00 dBm
Altura de antena	10.00 Longitud (m)
Diámetro	0.21 Longitud (m)
Ganancia	34.50 dB
Cable de arranque - MW	0.00 Longitud (m)
Alimentador	0.00 Longitud (m)
Cable de arranque - Antena	0.00 Longitud (m)
Pérdidas Rx	2.00 dB
Umbral 10-3	-73.50 dBm
Umbral 10-6	-72.50 dBm
TD	0 dB

Cálculo	Unidades
Potencia radiada	56.234133 W
Frecuencia	37072.000000 MHz
Polarización	V
Gas attenuation (7.50 g/m3)	0.08 dB
Rain attenuation (40.02 mm/h)	10.75 dB
Radio de la Tierra (suelo)	8500 km
Radio de la Tierra (mar)	8500 km
Atenuación de espacio libre	120.77 dB
Atenuación modelo	0.00 dB
Gan. de conducto	0.00 dB
Atenuación de difracción	0.00 dB
Atenuación de clutter	0.0 dB
Atenuación de reflexión	0.0 dB
Angulo-V	-1.88 Grados

Path budget	Unidades
Ganancias totales	84.00 dB
Pérdidas totales	135.60 dB
Potencia recibida (lluvia)	-51.60 dBm
Potencia recibida (sin lluvia)	-40.86 dBm
Margen 10-3 (sin lluvia)	32.64 dB
Margen 10-6 (sin lluvia)	31.64 dB
disponibilidad 10-6 multi-trayecto (PM)	100.000000 %
disponibilidad 10-6 lluvia (PM)	99.997536 %
disponibilidad 10-6 (PM)	99.997536 %
disponibilidad 10-3 multi-trayecto (PM)	100.000000 %
disponibilidad 10-3 lluvia (PM)	99.997793 %
disponibilidad 10-3 (PM)	99.997793 %
disponibilidad 10-6 multi-trayecto (A)	99.999990 %
Tiempo de corte 10-6 multi-trayecto (A)	0.052560 min/y
disponibilidad 10-3 multi-trayecto (A)	99.999990 %
Tiempo de corte 10-3 multi-trayecto (A)	0.052560 min/y
disponibilidad 10-6 lluvia (A)	99.999700 %
Tiempo de corte 10-6 lluvia (A)	1.578158 min/y

Tiempo de corte 10-6 lluvia (A)	1.578158	min/y
disponibilidad 10-3 lluvia (A)	99.999736	%
Tiempo de corte 10-3 lluvia (A)	1.390189	min/y
disponibilidad 10-6 (A)	99.999690	%
Tiempo de corte 10-6 (A)	1.630718	min/y
disponibilidad 10-3 (A)	99.999726	%
Tiempo de corte 10-3 (A)	1.442749	min/y
Factor de ocurrencia de propagación por multi-trayecto	0.000452	

Objective / Performance		Unidades
ESR objetivo	2.252151e-006	
SESR objetivo	2.815188e-008	
BBER objetivo	2.815188e-009	
ESR rendimiento	0.000000e+000	
SESR rendimiento	0.000000e+000	
BBER rendimiento	0.000000e+000	
Performance ESR MP	0.000000e+000	
Performance SESR MP	0.000000e+000	
Performance BBER MP	0.000000e+000	
Performance ESR rain	0.000000e+000	
Performance SESR rain	0.000000e+000	
Performance BBER rain	0.000000e+000	
Delta ESR	2.252151e-006	
Delta SESR	2.815188e-008	
Delta BBER	2.815188e-009	

Figura 3-17. Informe del radioenlace República Argentina-Ratón Vacilón 1.

Radioenlace Ratón Vacilón 1-República Argentina

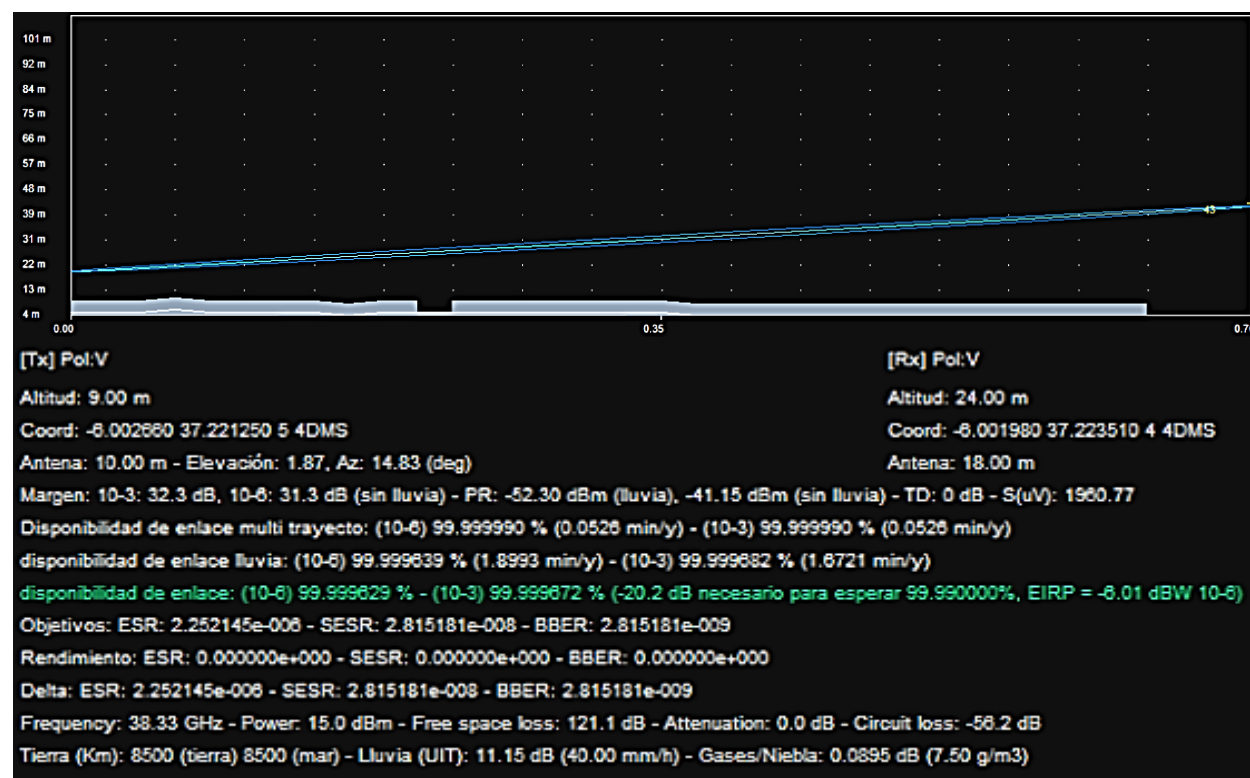


Figura 3-18. Perfil del radioenlace Ratón Vacilón 1-República Argentina.

BALANCE DE PERFIL

Estación A	Estación B
Ratón Vacilón 1	República Argentina
9.00 metros (MDT altitud+clutter)	24.00 metros (MDT altitud+clutter)
-6.002660 37.221250 5 4DMS	-6.001980 37.223510 4 4DMS
Angulo-H 14.83 grados	Angulo-H 194.83 grados

Distance between stations: 0.70 Km

Ratio bits: 108000.01 Kbps

Ident: MW1

Estación A	Unidades
Equipo radioenlace	at-el-Lucent 9500 Microwave Cross-Connect
Potencia	15.00 dBm
Altura de antena	10.00 Longitud (m)
Diámetro	0.21 Longitud (m)
Ganancia	34.50 dB
Cable de arranque - MW	0.00 Longitud (m)
Alimentador	0.00 Longitud (m)
Cable de arranque - Antena	0.00 Longitud (m)
Pérdidas Tx	2.00 dB

Estación B	Unidades
Equipo radioenlace	at-el-Lucent 9500 Microwave Cross-Connect
Potencia	15.00 dBm
Altura de antena	18.00 Longitud (m)
Diámetro	0.22 Longitud (m)
Ganancia	34.50 dB
Cable de arranque - MW	0.00 Longitud (m)
Alimentador	0.00 Longitud (m)
Cable de arranque - Antena	0.00 Longitud (m)
Pérdidas Rx	2.00 dB
Umbral 10-3	-73.50 dBm
Umbral 10-6	-72.50 dBm
TD	0 dB

Cálculo	Unidades
Potencia radiada	56.234133 W
Frecuencia	38332.000000 MHz
Polarización	V
Gaz attenuation (7.50 g/m3)	0.09 dB
Rain attenuation (40.00 mm/h)	11.15 dB
Radio de la Tierra (suelo)	8500 km
Radio de la Tierra (mar)	8500 km
Atenuación de espacio libre	121.06 dB
Atenuación modelo	0.00 dB
Gan. de conducto	0.00 dB
Atenuación de difracción	0.00 dB
Atenuación de clutter	0.0 dB
Atenuación de reflexión	0.0 dB
Angulo-V	1.87 Grados

Path budget	Unidades
Ganancias totales	84.00 dB
Pérdidas totales	136.30 dB
Potencia recibida (lluvia)	-52.30 dBm
Potencia recibida (sin lluvia)	-41.15 dBm
Margen 10-3 (sin lluvia)	32.35 dB
Margen 10-6 (sin lluvia)	31.35 dB
disponibilidad 10-6 multi-trayecto (PM)	100.000000 %
disponibilidad 10-6 lluvia (PM)	99.997105 %
disponibilidad 10-6 (PM)	99.997105 %
disponibilidad 10-3 multi-trayecto (PM)	100.000000 %
disponibilidad 10-3 lluvia (PM)	99.997409 %
disponibilidad 10-3 (PM)	99.997409 %
disponibilidad 10-6 multi-trayecto (A)	99.999990 %
Tiempo de corte 10-6 multi-trayecto (A)	0.052560 min/y
disponibilidad 10-3 multi-trayecto (A)	99.999990 %
Tiempo de corte 10-3 multi-trayecto (A)	0.052560 min/y
disponibilidad 10-6 lluvia (A)	99.999639 %
Tiempo de corte 10-6 lluvia (A)	1.899272 min/y

Tiempo de corte 10-6 lluvia (A)	1.899272	min/y
disponibilidad 10-3 lluvia (A)	99.999682	%
Tiempo de corte 10-3 lluvia (A)	1.672143	min/y
disponibilidad 10-6 (A)	99.999629	%
Tiempo de corte 10-6 (A)	1.951832	min/y
disponibilidad 10-3 (A)	99.999672	%
Tiempo de corte 10-3 (A)	1.724703	min/y
Factor de ocurrencia de propagación por multi-trayecto	0.000464	

Objective / Performance		Unidades
ESR objetivo	2.252145e-006	
SESR objetivo	2.815181e-008	
BBER objetivo	2.815181e-009	
ESR rendimiento	0.000000e+000	
SESR rendimiento	0.000000e+000	
BBER rendimiento	0.000000e+000	
Performance ESR MP	0.000000e+000	
Performance SESR MP	0.000000e+000	
Performance BBER MP	0.000000e+000	
Performance ESR rain	0.000000e+000	
Performance SESR rain	0.000000e+000	
Performance BBER rain	0.000000e+000	
Delta ESR	2.252145e-006	
Delta SESR	2.815181e-008	
Delta BBER	2.815181e-009	

Figura 3-19. Informe del radioenlace Ratón Vacilón 1-República Argentina.

Radioenlace Virgen de Luján- Ratón Vacilón 2

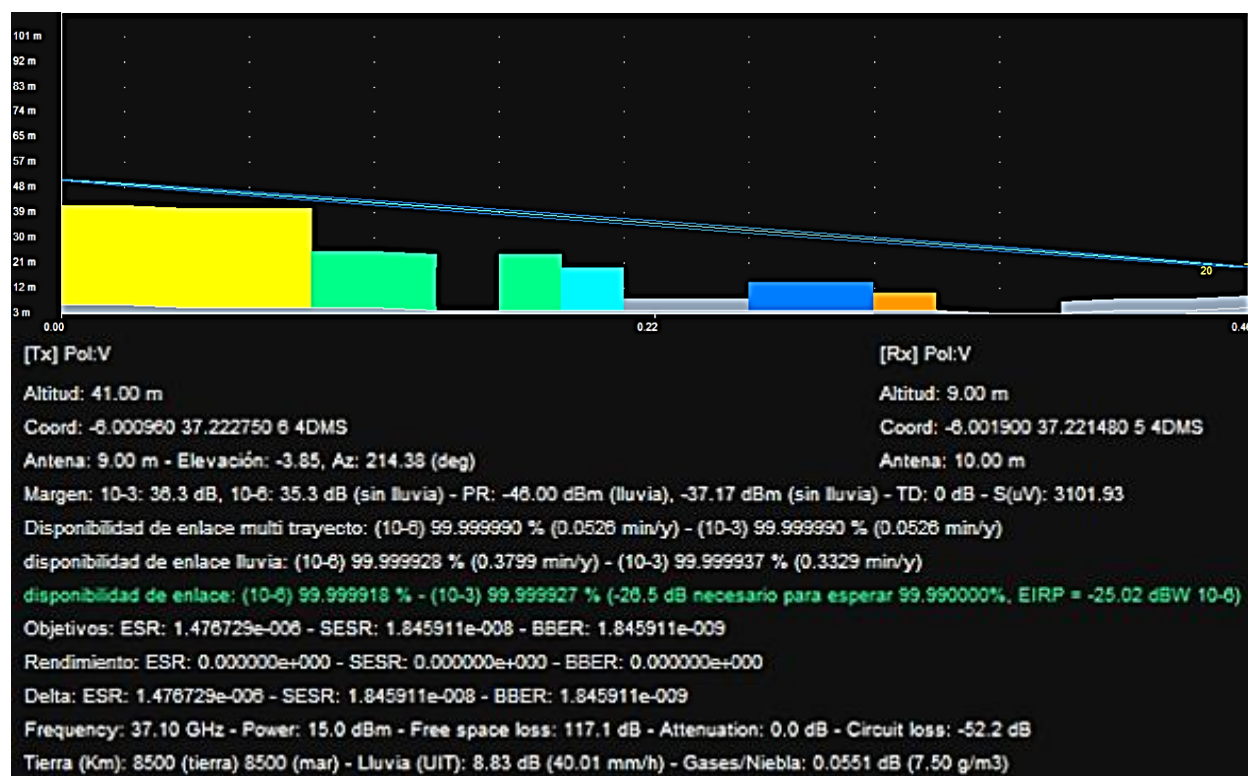


Figura 3-20. Perfil del radioenlace Virgen de Luján-Ratón Vacilón 2.

BALANCE DE PERFIL

Estación A	Estación B
Virgen de Luján	Ratón Vacilón 2
41.00 metros (MDT altitud+clutter)	9.00 metros (MDT altitud+clutter)
-6.000960 37.222750 6 4DMS	-6.001900 37.221480 5 4DMS
Angulo-H 214.38 grados	Angulo-H 34.38 grados

Distance between stations: 0.46 Km

Ratio bits: 108000.00 Kbps

Ident: MW2

Estación A	Unidades
Equipo radioenlace	at-el-Lucent 9500 Microwave Cross-Connect
Potencia	15.00 dBm
Altura de antena	9.00 Longitud (m)
Diámetro	0.22 Longitud (m)
Ganancia	34.50 dB
Cable de arranque - MW	0.00 Longitud (m)
Alimentador	0.00 Longitud (m)
Cable de arranque - Antena	0.00 Longitud (m)
Pérdidas Tx	2.00 dB

Estación B	Unidades
Equipo radioenlace	at-el-Lucent 9500 Microwave Cross-Connect
Potencia	15.00 dBm
Altura de antena	10.00 Longitud (m)
Diámetro	0.21 Longitud (m)
Ganancia	34.50 dB
Cable de arranque - MW	0.00 Longitud (m)
Alimentador	0.00 Longitud (m)
Cable de arranque - Antena	0.00 Longitud (m)
Pérdidas Rx	2.00 dB
Umbral 10-3	-73.50 dBm
Umbral 10-6	-72.50 dBm
TD	0 dB

Cálculo	Unidades
Potencia radiada	56.234133 W
Frecuencia	37100.000000 MHz
Polarización	V
Gaz attenuation (7.50 g/m3)	0.06 dB
Rain attenuation (40.01 mm/h)	8.83 dB
Radio de la Tierra (suelo)	8500 km
Radio de la Tierra (mar)	8500 km
Atenuación de espacio libre	117.11 dB
Atenuación modelo	0.00 dB
Gan. de conducto	0.00 dB
Atenuación de difracción	0.00 dB
Atenuación de clutter	0.0 dB
Atenuación de reflexión	0.0 dB
Angulo-V	-3.85 Grados

Path budget	Unidades
Ganancias totales	84.00 dB
Pérdidas totales	130.00 dB
Potencia recibida (lluvia)	-46.00 dBm
Potencia recibida (sin lluvia)	-37.17 dBm
Margen 10-3 (sin lluvia)	36.33 dB
Margen 10-6 (sin lluvia)	35.33 dB
disponibilidad 10-6 multi-trayecto (PM)	100.000000 %
disponibilidad 10-6 lluvia (PM)	99.999286 %
disponibilidad 10-6 (PM)	99.999286 %
disponibilidad 10-3 multi-trayecto (PM)	100.000000 %
disponibilidad 10-3 lluvia (PM)	99.999363 %
disponibilidad 10-3 (PM)	99.999363 %
disponibilidad 10-6 multi-trayecto (A)	99.999990 %
Tiempo de corte 10-6 multi-trayecto (A)	0.052560 min/y
disponibilidad 10-3 multi-trayecto (A)	99.999990 %
Tiempo de corte 10-3 multi-trayecto (A)	0.052560 min/y
disponibilidad 10-6 lluvia (A)	99.999928 %
Tiempo de corte 10-6 lluvia (A)	0.379854 min/y

Tiempo de corte 10-6 lluvia (A)	0.379854	min/y
disponibilidad 10-3 lluvia (A)	99.999937	%
Tiempo de corte 10-3 lluvia (A)	0.332862	min/y
disponibilidad 10-6 (A)	99.999918	%
Tiempo de corte 10-6 (A)	0.432414	min/y
disponibilidad 10-3 (A)	99.999927	%
Tiempo de corte 10-3 (A)	0.385422	min/y
Factor de ocurrencia de propagación por multi-trayecto	0.000049	

Objective / Performance		Unidades
ESR objetivo	1.476729e-006	
SESR objetivo	1.845911e-008	
BBER objetivo	1.845911e-009	
ESR rendimiento	0.000000e+000	
SESR rendimiento	0.000000e+000	
BBER rendimiento	0.000000e+000	
Performance ESR MP	0.000000e+000	
Performance SESR MP	0.000000e+000	
Performance BBER MP	0.000000e+000	
Performance ESR rain	0.000000e+000	
Performance SESR rain	0.000000e+000	
Performance BBER rain	0.000000e+000	
Delta ESR	1.476729e-006	
Delta SESR	1.845911e-008	
Delta BBER	1.845911e-009	

Figura 3-21. Informe del radioenlace Virgen de Luján-Ratón Vacilón 2.

Radioenlace Ratón Vacilón 2-Virgen de Luján

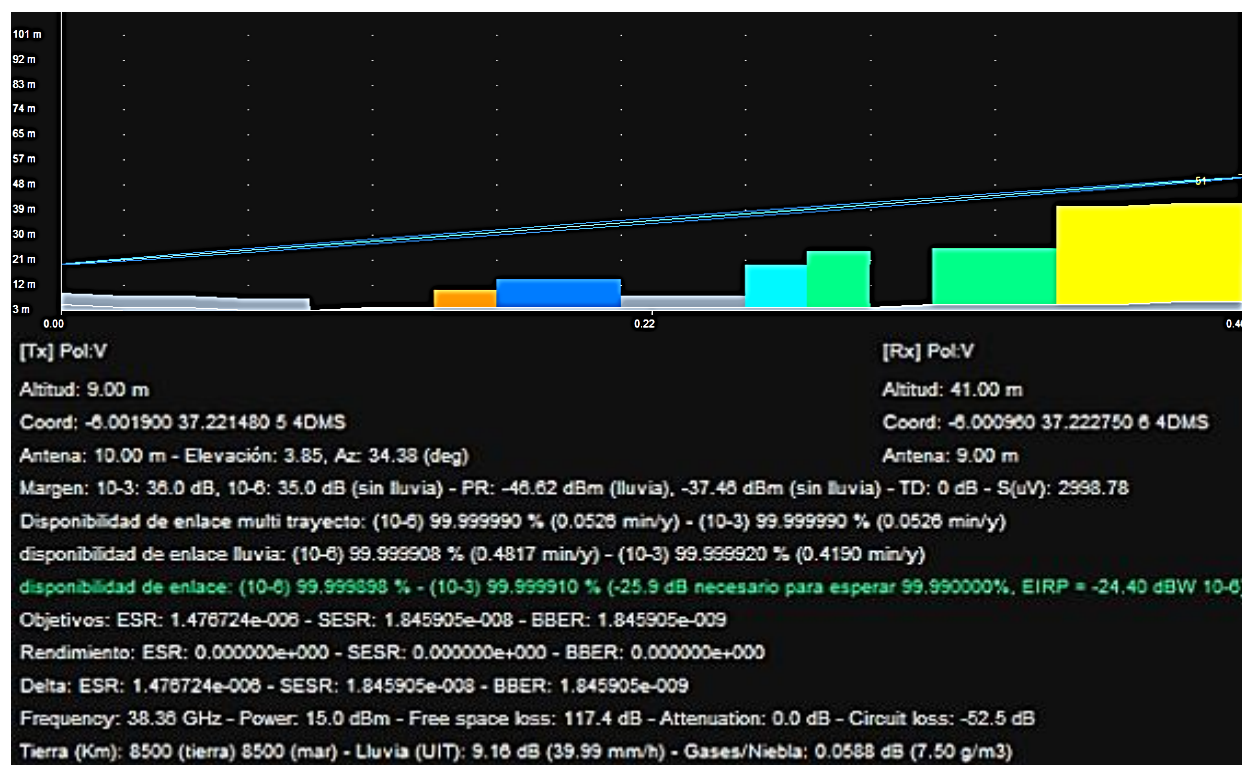


Figura 3-22. Perfil del radioenlace Ratón Vacilón 2-Virgen de Luján.

BALANCE DE PERFIL

Estación A	Estación B
Ratón Vacilón 2	Virgen de Luján
9.00 metros (MDT altitud+clutter)	41.00 metros (MDT altitud+clutter)
-6.001900 37.221480 5 4DMS	-6.000960 37.222750 6 4DMS
Angulo-H 34.38 grados	Angulo-H 214.38 grados

Distance between stations: 0.46 Km

Ratio bits: 108000.01 Kbps

Ident: MW2

Estación A	Unidades
Equipo radioenlace	atel-Lucent 9500 Microwave Cross-Connect
Potencia	15.00 dBm
Altura de antena	10.00 Longitud (m)
Diámetro	0.21 Longitud (m)
Ganancia	34.50 dB
Cable de arranque - MW	0.00 Longitud (m)
Alimentador	0.00 Longitud (m)
Cable de arranque - Antena	0.00 Longitud (m)
Pérdidas Tx	2.00 dB

Estación B	Unidades
Equipo radioenlace	atel-Lucent 9500 Microwave Cross-Connect
Potencia	15.00 dBm
Altura de antena	9.00 Longitud (m)
Diámetro	0.22 Longitud (m)
Ganancia	34.50 dB
Cable de arranque - MW	0.00 Longitud (m)
Alimentador	0.00 Longitud (m)
Cable de arranque - Antena	0.00 Longitud (m)
Pérdidas Rx	2.00 dB
Umbral 10-3	-73.50 dBm
Umbral 10-6	-72.50 dBm
TD	0 dB

Cálculo	Unidades
Potencia radiada	56.234133 W
Frecuencia	38360.000000 MHz
Polarización	V
Gaz attenuation (7.50 g/m3)	0.06 dB
Rain attenuation (39.99 mm/h)	9.16 dB
Radio de la Tierra (suelo)	8500 km
Radio de la Tierra (mar)	8500 km
Atenuación de espacio libre	117.40 dB
Atenuación modelo	0.00 dB
Gan. de conducto	0.00 dB
Atenuación de difracción	0.00 dB
Atenuación de clutter	0.0 dB
Atenuación de reflexión	0.0 dB
Angulo-V	3.85 Grados

Path budget	Unidades
Ganancias totales	84.00 dB
Pérdidas totales	130.62 dB
Potencia recibida (lluvia)	-46.62 dBm
Potencia recibida (sin lluvia)	-37.46 dBm
Margen 10-3 (sin lluvia)	36.04 dB
Margen 10-6 (sin lluvia)	35.04 dB
disponibilidad 10-6 multi-trayecto (PM)	100.000000 %
disponibilidad 10-6 lluvia (PM)	99.999122 %
disponibilidad 10-6 (PM)	99.999122 %
disponibilidad 10-3 multi-trayecto (PM)	100.000000 %
disponibilidad 10-3 lluvia (PM)	99.999222 %
disponibilidad 10-3 (PM)	99.999222 %
disponibilidad 10-6 multi-trayecto (A)	99.999990 %
Tiempo de corte 10-6 multi-trayecto (A)	0.052560 min/y
disponibilidad 10-3 multi-trayecto (A)	99.999990 %
Tiempo de corte 10-3 multi-trayecto (A)	0.052560 min/y
disponibilidad 10-6 lluvia (A)	99.999908 %
Tiempo de corte 10-6 lluvia (A)	0.481671 min/y

Tiempo de corte 10-6 lluvia (A)	0.481671	min/y
disponibilidad 10-3 lluvia (A)	99.999920	%
Tiempo de corte 10-3 lluvia (A)	0.419015	min/y
disponibilidad 10-6 (A)	99.999898	%
Tiempo de corte 10-6 (A)	0.534231	min/y
disponibilidad 10-3 (A)	99.999910	%
Tiempo de corte 10-3 (A)	0.471575	min/y
Factor de ocurrencia de propagación por multi-trayecto	0.000051	

Objective / Performance		Unidades
ESR objetivo	1.476724e-006	
SESR objetivo	1.845905e-008	
BBER objetivo	1.845905e-009	
ESR rendimiento	0.000000e+000	
SESR rendimiento	0.000000e+000	
BBER rendimiento	0.000000e+000	
Performance ESR MP	0.000000e+000	
Performance SESR MP	0.000000e+000	
Performance BBER MP	0.000000e+000	
Performance ESR rain	0.000000e+000	
Performance SESR rain	0.000000e+000	
Performance BBER rain	0.000000e+000	
Delta ESR	1.476724e-006	
Delta SESR	1.845905e-008	
Delta BBER	1.845905e-009	

Figura 3-23. Informe del radioenlace Ratón Vacilón 2-Virgen de Luján.

La intensidad de lluvia tomada para la zona donde se ha estudiado el radioenlace es de aproximadamente 40 mm/h. En este caso, las pérdidas producidas por la lluvia son de alrededor de 11 dB para el primer radioenlace y de unos 9 dB para el segundo, debido a la distancia de ambos. Estas pérdidas sumadas a las producidas por los gases atmosféricos y las de espacio libre y teniendo en cuenta las ganancias de las antenas y la potencia transmitida, hacen que la potencia recibida en cada estación sea mucho mayor que el umbral de recepción.

Esto provoca que se obtenga una alta disponibilidad en los radioenlaces que cumplen los objetivos de la UIT. En todos los perfiles se cumplen tanto los objetivos de disponibilidad como de calidad establecidos por la UIT y que se han expuesto en el anterior capítulo. En cuanto a disponibilidad, ésta debe ser mayor de 99.96% para corto alcance y en todos los perfiles se supera el 99.99% de disponibilidad. También se cumplen los objetivos en cuanto a calidad como se puede observar en los datos de ESR y SESR objetivos y rendimientos que recogen las capturas de los perfiles.

Otro aspecto que destacar puede ser como la diferencia de frecuencias hace que, en los distintos radioenlaces, en el enlace que une las estaciones ubicadas en el edificio y la atracción, la potencia que llega a ésta última tiene más nivel de señal que la potencia que llega a la estación del edificio. Esto es debido a que las pérdidas en el espacio libre disminuyen al ser menor la frecuencia. La diferencia es de 0.6-0.7 dBm, pero es interesante explicar de donde procede.

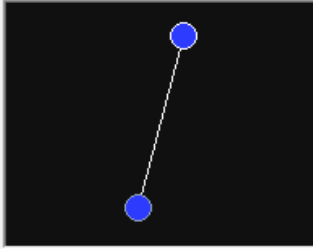
3.3.3 Análisis de interferencias

Existen dos métodos para el cálculo de interferencias en radioenlaces: el método TD (degradación del umbral) o el método C/I (relación entre potencia de señal deseada y potencia de señal no deseada o interferencia). Si se comparan los resultados obtenidos tras ambas simulaciones en las figuras 3-24 y 3-25, se puede observar que la variación de uno a otro es despreciable en este caso.

Existe una opción en el método C/I que permite obtener las interferencias siendo la potencia de señal deseada el umbral de recepción (Figura 3-26).

Interferencia de enlace - Cálculo de degradación de umbral

Link: 0001 -> 0002 - TD: 0000 dB - Margin 10-6: 0032 dB - 37072.000000 MHz - 'República Argentina' -> 'Ratón Vacilón 1' V -
 Interferer: 0003 - C/I: 0111 dB - TD: 0.00 dB - protection: 20.0 dB - 37100.000000 MHz - 'Virgen de Luján' -> 'Ratón Vacilón 2' V -
 Link: 0002 -> 0001 - TD: 0000 dB - Margin 10-6: 0031 dB - 38332.000000 MHz - 'Ratón Vacilón 1' -> 'República Argentina' V -
 Interferer: 0004 - C/I: 0103 dB - TD: 0.00 dB - protection: 20.0 dB - 38360.000000 MHz - 'Ratón Vacilón 2' -> 'Virgen de Luján' V -
 Link: 0003 -> 0004 - TD: 0000 dB - Margin 10-6: 0035 dB - 37100.000000 MHz - 'Virgen de Luján' -> 'Ratón Vacilón 2' V -
 Interferer: 0001 - C/I: 0107 dB - TD: 0.00 dB - protection: 20.0 dB - 37072.000000 MHz - 'República Argentina' -> 'Ratón Vacilón 1' V -
 Link: 0004 -> 0003 - TD: 0000 dB - Margin 10-6: 0035 dB - 38360.000000 MHz - 'Ratón Vacilón 2' -> 'Virgen de Luján' V -
 Interferer: 0002 - C/I: 0115 dB - TD: 0.00 dB - protection: 20.0 dB - 38332.000000 MHz - 'Ratón Vacilón 1' -> 'República Argentina' V -



Acimut Tx: 194.83 ° Distancia Tx/Rx: 703 m
 Acimut Rx: 14.83 ° Distancia: m
 Acimut Interferente: °
 Señal deseada: -41 dBm
 Señal no deseada: dBm

Informe
 Reiniciar
 Cerrar

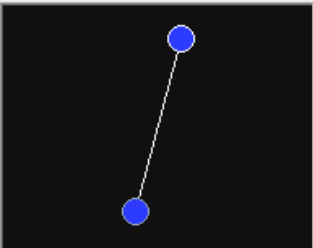
Clic izq.: seleccionar - Clic der.: opciones. Protección=IRF+XPD+Difusión de potencia(co-canal)

PotTx: 15.00 dBm - GanTx: 34.5 - Pérd-añad-Tx: 0.0 dB - Pérd-Tx: 2.0 dB
 GanRx: 34.5 dB - PérdRx: 2.0 dB
 Pot. recibida: -40.86 dBm - Márgen: 31.6 dB - Pérdidas propagación: 120.9 dB

Figura 3-24. Cálculo de nivel de interferencia por el método TD.

Interferencia de enlace

Link: 0001 MW1 -> 0002 MW1 - 37072.000000 MHz V (República Argentina -> Ratón Vacilón 1) - C/I 111.05 dB -
 Interferer 0003 MW2 - C/I: 0111 dB - 37100.000000 MHz V 'Virgen de Luján' -> 'Ratón Vacilón 2' - Protección: 20.0 dB
 Link: 0002 MW1 -> 0001 MW1 - 38332.000000 MHz V (Ratón Vacilón 1 -> República Argentina) - C/I 103.36 dB -
 Interferer 0004 MW2 - C/I: 0103 dB - 38360.000000 MHz V 'Ratón Vacilón 2' -> 'Virgen de Luján' - Protección: 20.0 dB
 Link: 0003 MW2 -> 0004 MW2 - 37100.000000 MHz V (Virgen de Luján -> Ratón Vacilón 2) - C/I 107.12 dB -
 Interferer 0001 MW1 - C/I: 0107 dB - 37072.000000 MHz V 'República Argentina' -> 'Ratón Vacilón 1' - Protección: 20.0 dB
 Link: 0004 MW2 -> 0003 MW2 - 38360.000000 MHz V (Ratón Vacilón 2 -> Virgen de Luján) - C/I 115.27 dB -
 Interferer 0002 MW1 - C/I: 0115 dB - 38332.000000 MHz V 'Ratón Vacilón 1' -> 'República Argentina' - Protección: 20.0 dB



Acimut Tx: 194.83 ° Distancia Tx/Rx: 703 m
 Acimut Rx: 14.83 ° Distancia Interferente/Rx: m
 Acimut: °
 Señal deseada: -41 dBm
 Señal no deseada: dBm

Informe
 Reiniciar
 Cerrar

Clic izq.: seleccionar - Clic der.: opciones.

PotTx: 15.00 dBm - GanTx: 34.5 - Pérd-añad-Tx: 0.0 dB - Pérd-Tx: 2.0 dB
 GanRx: 34.5 dB - PérdRx: 2.0 dB
 Pot. recibida: -40.86 dBm - Márgen: 31.6 dB - Pérdidas propagación: 120.9 dB

Figura 3-25. Cálculo de nivel interferencia por el método C/I.

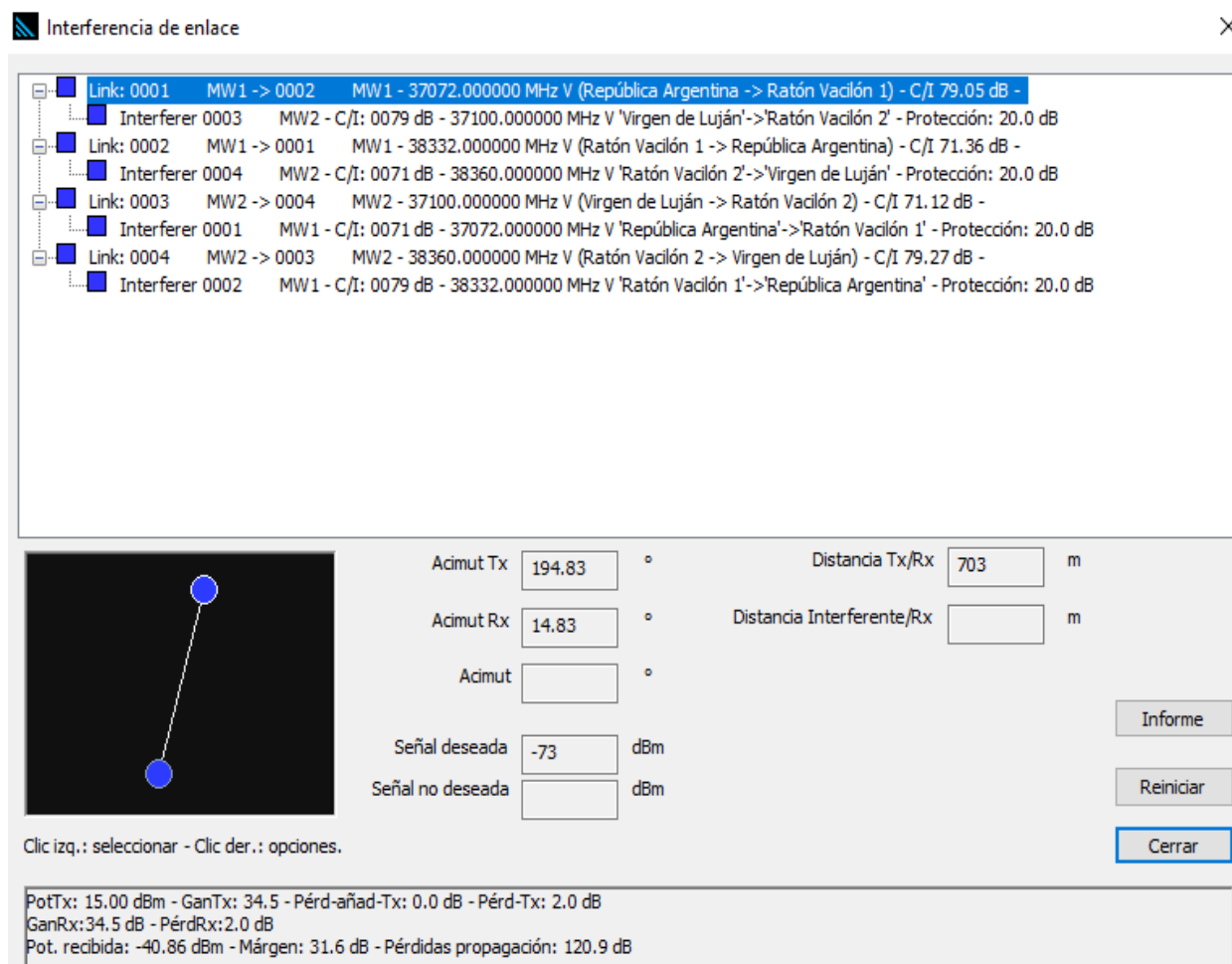


Figura 3-26. Cálculo de nivel de interferencia por el método C/I y umbral de recepción como potencia recibida.

Radioenlaces C/I

Enlace	Dirección	Deseado (dBm)	No deseado (dBm)	C/I sum (dB)	TD (dB)	Frec. (MHz)
MW1	Ratón Vacilón 1	-40.86	-152.05	111.20	0.00	37072
MW1	República Argentina	-41.15	-144.36	103.21	0.00	38332
MW2	Ratón Vacilón 2	-37.17	-144.12	106.95	0.00	37100
MW2	Virgen de Luján	-37.46	-152.27	114.81	0.00	38360

Tabla 3-8. Niveles de potencia recibidos en cada estación y relación C/I.

Tras realizar las simulaciones se analiza el peor caso, el cuál es la interferencia causada al primer radioenlace por la estación base situada en Ratón Vacilón 2. Al valorar estos niveles de interferencias, los cuáles son muy bajos, ya que la relación C/I es muy alta, como se observa en la Tabla 3-8, se llevó a cabo una nueva simulación de los radioenlaces. En este nuevo caso, se utilizaron las mismas frecuencias en los enlaces descendentes y también las mismas en los ascendentes, por lo que, la nueva asignación de frecuencias era:

	República Argentina	Ratón Vacilón 1
Frecuencia de transmisión	37,072 GHz	38,332 GHz
Frecuencia de recepción	38,332 GHz	37,072 GHz

Tabla 3-9. Frecuencias utilizadas en el primer radioenlace.

	Virgen de Luján	Ratón Vacilón 2
Frecuencia de transmisión	37,072 GHz	38,332 GHz
Frecuencia de recepción	38,332 GHz	37,072 GHz

Tabla 3-10. Frecuencias utilizadas en el segundo radioenlace.

Al realizar la simulación con las nuevas frecuencias para el segundo radioenlace los resultados obtenidos son:

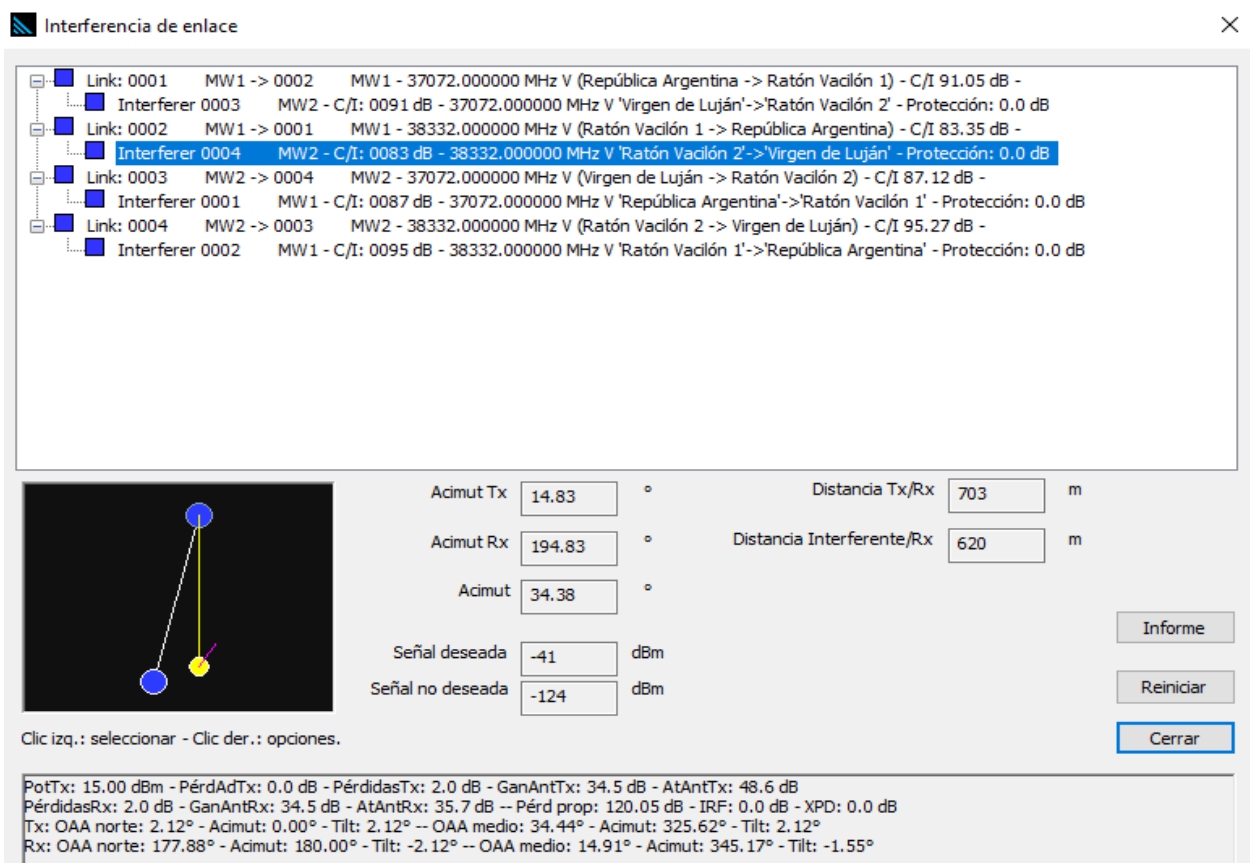


Figura 3-27. Cálculo de nivel interferencia por el método C/I con misma canalización.

Al analizar los resultados obtenidos en la Figura 3-27 y compararlos con los anteriores, se observa que ambos son iguales. En este caso, no existe protección frente a interferencias como en las simulaciones anteriores. De ahí, que se pase de un valor de 103 dB a un valor de 83 dB para el enlace menos favorable, ya que la protección se fijó para el primer caso en 20 dB como se puede observar en las distintas capturas.

Dicha relación C/I es tan alta debido a la gran directividad que tienen las antenas y que hace que radien en una sola dirección enfocada al extremo de su radioenlace.

También se puede recalcar el hecho de que con esta nueva configuración se realizaron los análisis tanto de cobertura como de disponibilidad, pero los resultados sólo cambian mínimamente, por lo que sería un poco repetitivo volverlo a comentar todo de nuevo.

3.4 Elementos básicos de los emplazamientos urbanos

Los emplazamientos urbanos suelen ser los edificios ya que por su altura es más fácil conseguir visibilidad directa con el otro extremo y evitar los problemas de obstáculos. Las casetas donde se encuentran los equipos que serán necesarios para el sistema se sitúan en las azoteas de dichos edificios y las antenas se podrán colocar a la altura determinada utilizando soportes o mástiles. Los elementos que constituyen las estaciones base se mimetizan de manera que se ajusten al entorno del emplazamiento para minimizar su impacto visual. Para reducir el número de emplazamientos en algunos lugares, se intenta que los operadores lleguen a acuerdos entre ellos para situar estaciones base en emplazamientos compartidos siempre que sea posible.

3.4.1 Caseta de telecomunicación

En primer lugar, hay que tener en cuenta que haya espacio disponible para los equipos que se deben instalar en el sistema. En el caso de que no haya espacio suficiente para dichos equipos, se procederá a la instalación de una caseta con unas dimensiones establecidas. Además, hay que tener en cuenta la disponibilidad de puntos eléctricos donde se puede tomar la alimentación para la nueva instalación sin generar sobrecarga sobre los rectificadores. En el caso expuesto en este proyecto, los emplazamientos contarán con una caseta y espacio suficiente para la instalación de los equipos que darán funcionamiento al radioenlace.

Se utilizan casetas de dimensiones 2'60 m x 2'70 m aproximadamente que permiten la distribución de los equipos de la manera más adecuada en su interior y también garantizan la máxima seguridad de las instalaciones. Proteger a los equipos de fenómenos naturales (lluvia, altas temperaturas, radiaciones...) que les provoquen degradación y también de los posibles robos o sabotajes es el objetivo de la caseta. Para ello, la caseta proporciona una temperatura óptima (gracias a los aires acondicionados de su interior) para el funcionamiento de los equipos e impide que cualquier persona sin autorización pueda manipularlos provocando una pérdida de servicios.

En el interior de la caseta, como elementos principales, estarán los racks que sean necesarios para el funcionamiento del radioenlace y en su interior se encuentran los distintos dispositivos (IDUs: InDoor Units, que se describirán con detalle en la sección 3.5) que cambian según el rack y la tecnología que se utilice. En la caseta también se pueden encontrar elementos de red de otro tipo de comunicación además de las IDUs. Desde un cuadro eléctrico llega la corriente eléctrica necesaria a la caseta y serán necesarios equipos de fuerzas llamados rectificadores para alimentar a los distintos dispositivos.

Un corte de suministro eléctrico en el edificio provocaría que no llegase alimentación a la caseta, por lo que los equipos dejarían de funcionar. Por este motivo, todos los emplazamientos urbanos deben disponer de baterías, ya que no se podría colocar un grupo electrógeno auxiliar porque el ruido tan alto que producen afectaría a los vecinos tanto del edificio como de las zonas contiguas. En emplazamientos rurales si es recomendable su instalación.

3.4.2 Mástiles o soportes

Los mástiles individuales (uno por antena), se utilizan normalmente en emplazamientos en los que existen espacios que facilitan la ubicación de los soportes para ubicar las antenas con la mínima altura posible (siempre por encima de los 2.5 metros para evitar que el haz de la antena incida directamente sobre cualquier

persona que transite por las azoteas en las inmediaciones cercanas a las antenas y las últimas plantas de los edificios) permitiendo minimizar el impacto visual en la medida de lo posible como se ha mencionado anteriormente. Por este motivo, las dimensiones mínimas de los mástiles utilizados para soportar las antenas oscilan entre 3 y 4 metros.

Las estructuras monomástil (varias antenas en el mismo mástil) se utilizan habitualmente en emplazamientos en los que es complicado ubicar las antenas por separado, debido a las dificultades que ofrece el emplazamiento. Este tipo de estructuras son algo más complejas.

3.4.3 Red eléctrica y rectificadores

A los rectificadores les llega la corriente eléctrica que es corriente alterna y la función de los rectificadores es convertirla en corriente continua para alimentar a los diferentes equipos de hay en el interior de la caseta.

El equipo transceptor (ODU: OutDoor Unit), situado junto a la antena, se conecta a un cable de alimentación a 48 V DC y a un rectificador de potencia que como ya se ha dicho va conectado a la red eléctrica. El rectificador tiene que proporcionar alimentación suficiente para los equipos, teniendo a su salida una tensión de 48 V DC y una potencia de 800 W. El ODU también estará conectado al equipo que se encuentra en el rack de telecomunicaciones (IDU) por un cable coaxial. Este equipo también necesita 48 V DC para funcionar por lo que también estará conectado al rectificador.

El equipo con el que se trabaja en este proyecto está diseñado para operar desde una fuente de alimentación de 48 V DC, pero funcionará según las especificaciones en un rango de tensiones de 40.5 a 60 V DC.

Las baterías también se conectan a los rectificadores por si se da un corte de suministro permitir que los equipos se puedan seguir alimentando.

Desde el cuadro eléctrico también se alimentará la iluminación exterior de la caseta si fuera necesario.

3.4.4 Baterías

Los racks necesitan suministro eléctrico, por lo que la caseta debe estar siempre alimentada. Por ello, en todas las casetas hay baterías de respaldo para asegurar el funcionamiento de los equipos en caso de que haya algún corte en la red eléctrica. Existirán más o menos baterías según el número de equipos que haya en la caseta.

3.4.5 Aire acondicionado

Para mantener una temperatura de los equipos idónea para su correcto funcionamiento y que no bajen su rendimiento se instala un sistema de refrigeración. Debido a las altas temperaturas de exterior que se dan en Sevilla en el mes de abril en las horas centrales del día, el sistema de aire acondicionado tiene que tener un alto rendimiento de refrigeración.

3.4.6 Alarmas

Dentro de la caseta también se sitúa un panel de alarmas externas, que comunicará a un centro de supervisión cuando el funcionamiento del radioenlace se vea perjudicado por cualquier causa adversa. Esto servirá para prevenir la avería e impedir la indisponibilidad provocada por la pérdida de servicio.

Las alarmas externas son aquellas que no son provocadas por fallo de los equipos. De las muchas que hay se destacan:

- Temperatura alta y baja
- Uso de baterías
- Batería desconectada
- Fuego
- Fallo del rectificador
- Fallo del aire acondicionado

3.4.7 Puesta a tierra

Se debe crear una red de tierras en cada emplazamiento para, como primer objetivo, proteger a las personas ya que pueden producirse corrientes peligrosas para su integridad física (como subidas bruscas de tensión) y también para proteger los equipos instalados en una estación base. Estas corrientes se derivarán hacia dicha red que deberá cumplir con las normativas y especificaciones técnicas vigentes.

3.4.8 Emplazamientos en la zona de atracciones

En los emplazamientos situados en la zona de atracciones, los racks serán más pequeños debido a que no van a proteger a tantos equipos como en los emplazamientos urbanos comentados anteriormente y que favorece su mimetización para evitar robos y sabotajes, para lo que además cuentan con un cierre de seguridad como se puede observar en la Figura 3-28.

Cabe destacar que estos emplazamientos no contarán con caseta, sino que los equipos estarán instalados en un rack de exterior que contendrá en su interior una cadena de baterías con autonomía variable y de hasta un máximo de 1 hora para asegurar una autonomía de funcionamiento en caso de corte eléctrico. En estos emplazamientos sí se podría instalar un grupo electrógeno para alimentar a los equipos. El rack tendrá unos orificios que permitirán la entrada de aire para favorecer la ventilación y con ello, mantener una temperatura idónea para el funcionamiento de los equipos.



Figura 3-28. Rack de exterior. [27]

3.5 Instalación física de equipos

La información contenida en esta sección ha sido extraída del manual del equipo Alcatel-Lucent 9500 Microwave Cross-Connect [28] que está formado por dos bloques principales:

- IDU (InDoor Unit)

Su función es convertir a banda base la señal que recibe de la ODU en frecuencia intermedia y procesarla, y al contrario cuando se transmite. Se encuentra en el interior del rack de telecomunicaciones junto con el resto de equipos radio y es el extremo de cada radioenlace. Existe una IDU en cada extremo. Para este equipo, existen 3 tipos de IDU según su aplicación que se muestran en la Tabla 3-11:

Aplicación	Variante	Capacidades	Modulación
E1/DS1	IDU 20x	5xE1 hasta 75xE1, o de 4xDS1 hasta 100xDS1	De QPSK a 128QAM
STM1/OC3	IDU 155o	STM1/OC3 (interfaz óptica SC)	16/64/128QAM
Ethernet	IDU ES	10/100Base-T a 200 Mbps con un máximo de 8xE1/DS1	De QPSK a 128QAM

Tabla 3-11. Tipos de IDU.

Se elegirá la IDU 20x mostrada en la Figura 3-29, ya que se transmitirán 52 señales E1 para trabajar con un ancho de banda de 28 MHz y una modulación 32-QAM según las especificaciones.



Figura 3-29. IDU 20x.

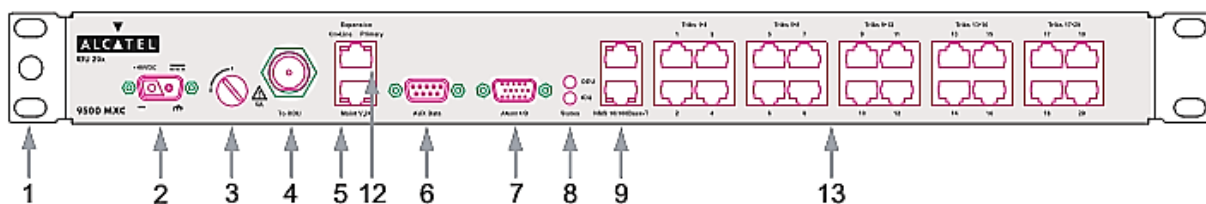


Figura 3-30. Panel frontal del IDU 20x.

A continuación, se nombran los distintos elementos numerados en la Figura 3-30:

1. Conexión a tierra del equipo y enclaje para ensamblar el equipo en el rack.
2. Conexión de la fuente de alimentación a 48 V.
3. Estado de encendido o apagado del fusible.
4. Conexión del cable coaxial con la ODU.
5. Conexión con el software de configuración y diagnóstico 9500 MXC CT.

6. Conexión para un canal de datos síncrono o asíncrono.
7. Gestión de alarmas mediante 9500 MXC CT.
8. LEDs que proporcionan el estado de la ODU e IDU.
9. Puertos de acceso para gestión de redes Ethernet.
12. Puerto de expansión o protección con el que se puede conectar a otras IDU y así añadir diversidad.
13. Conexión de tributarios.

El equipo se conecta a un software (9500 MXC CT) con un entorno parecido a Windows, que se encarga de tareas de configuración o diagnóstico. Entre ellas, se destaca la supervisión de alarmas procedentes del equipo. Por ejemplo, que llegue una tensión a la entrada demasiado alta o demasiado baja o que la temperatura del equipo no se encuentre en el intervalo de -5°C a 45°C .

- ODU (OutDoor Unit)

Su función es convertir a frecuencia intermedia la señal que recibe de la antena en alta frecuencia y lo contrario cuando transmite. Conectada a la ODU nos encontramos con la antena parabólica. Tanto ODU como antena se sitúan en el exterior y normalmente, se usa el montaje directo, en el que la ODU se encuentra acoplada a la antena como se puede observar en la Figura 3-31. El otro tipo de montaje es la conexión de la antena y la ODU mediante una guía de ondas como se muestra en la Figura 3-32, ya que estarían situadas en distintas posiciones a lo largo del mástil.

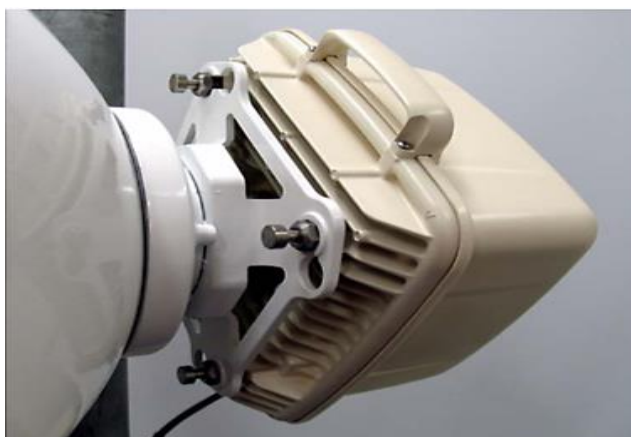


Figura 3-31. Montaje conjunto antena-ODU.



Figura 3-32. Conexión mediante guía de onda de una ODU a la antena.

Para el equipo utilizado existen dos ODU mecánicamente similares, la ODU 300ep y la ODU 300hp. Ambas están diseñadas para el montaje directo con la antena, pero pueden montarse también separadas. Se elige la ODU 300hp, ya que puede llegar hasta la banda de 38 GHz, mientras la ODU 300ep sólo puede alcanzar la banda de 23 GHz. Las carcasas de ambas son muy parecidas y se muestran en la Figura 3-33.



Figura 3-33. ODU 300ep.

La instalación física consiste en el montaje de los equipos en el lugar correspondiente y es llevado a cabo por un equipo de trabajo experimentado y bajo la supervisión de personal capacitado. La instalación puede completarse hasta la alineación de la antena sin el uso de 9500 MXC CT, pero éste es necesario para la verificación y configuración de cada terminal.

Para esta etapa se desarrollan unos pasos que se describen a continuación:

- Preinstalación. Comprende la revisión de los equipos a instalar antes de ser llevados al emplazamiento y las configuraciones previas para colocar la antena en la torre o mástil, la polarización y la señalización inicial.
- Instalación de la antena y ODU. Se debe desarrollar tanto, en las estaciones de telefonía móvil como en las situadas en las atracciones involucradas en los radioenlaces. En este paso se logra ensamblar la antena y la ODU en el mástil mediante atornillado. Las antenas se instalan según las indicaciones del fabricante. Para las ODUs montadas directamente en la antena, ésta última incluye un rotador de polarización como se puede observar en la Figura 3-34. Cuando se utilicen antenas estándar, la ODU se debe instalar separada de la antena y se debe usar una guía de onda flexible para conectarlas.

Las guías de onda flexibles son específicas de la banda de frecuencia y están disponibles en dos longitudes: 600 mm para bandas de frecuencia de 18 a 38 GHz y 1000 mm para bandas de frecuencia de 6 a 15 GHz.



Figura 3-34. Sujeción al mástil y rotador de polarización de una antena Commscope.

La polarización de la señal transmitida, horizontal o vertical, está determinada por la antena. La polarización de la ODU está configurada para coincidir con su antena. Para las ODUs montadas directamente con la antena, la polarización se determina mediante el ajuste del rotador de polarización, el cual se observa en la Figura 3-35. El rotador es una parte integral del montaje de la antena. La polarización vertical es la configuración predeterminada. Los ajustes V y H están indicados en el cabezal giratorio. Para las antenas estándar, la polarización está determinada por la orientación de la antena.

Si el rotador no está configurado para la polarización requerida, se debe ajustar su orientación.

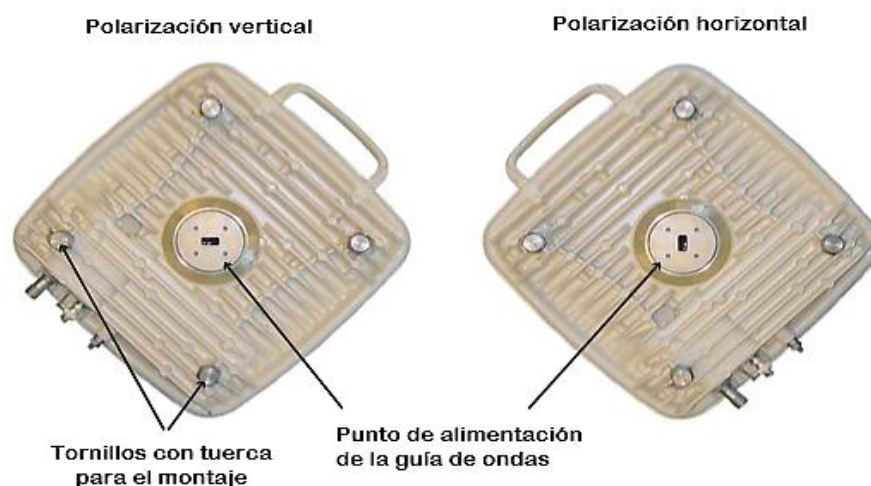


Figura 3-35. Orientación de ODU para polarización vertical u horizontal.

Cuando se quieren instalar más de una ODU en la misma antena para hacer uso de técnicas de diversidad, es necesaria la instalación de un acoplador como se ve en la Figura 3-36.

Las ODUs están conectadas al acoplador como si se conectaran a una antena, excepto que no hay un rotador de polarización asociado con cada ODU. Más bien, la polarización del acoplador se establece para que coincida con la polarización de la antena V o H usando interfaces de acoplamiento de 0 grados o 90 grados, que se suministran con el acoplador. Los acopladores están equipados por defecto con la interfaz de polarización vertical. Siempre se debe instalar el acoplador en la antena antes de conectar las ODUs al acoplador.



Figura 3-36. Acoplador fijado a la antena y acoplador con ODUs ya instaladas.

Como requisito se instala un supresor de sobretensiones interno en la ODU 300hp y estará correspondientemente etiquetado, mientras que para la ODU 300ep el supresor no será interno. También se puede instalar un supresor de sobretensiones en la entrada de la caseta para proporcionar protección adicional al equipo interior además de la red de tierras.

- Instalación de IDU en el rack de telecomunicaciones, así como comprobar el funcionamiento del cuadro eléctrico, baterías y aire acondicionado de la caseta. Se debe tener en cuenta que la IDU debe quedar separada de las otras por un espacio igual o mayor a su tamaño (normalmente se usan racks de 19 U), para así evitar sobrecalentamientos en los equipos, ya que puede soportar una temperatura ambiente máxima de 45°C. La IDU requiere 44.5 mm (1 U) de espacio de rack vertical y 300 mm de profundidad de rack.

La IDU debe estar conectada a tierra, que debe ser la misma que la utilizada para la fuente de alimentación. Normalmente esto se logra conectando la IDU a la barra de tierra de su rack mediante un cable de 4mm². Esta barra se ubica con mayor frecuencia a un lado del estante o en la parte superior o inferior. A su vez, la barra de tierra está conectada a la tierra de la caseta con un cable de 16mm².

- Conexión IDU-ODU mediante cable IF. El cableado entre IDU y ODU es un coaxial con unas características en función de la distancia entre ambas y la frecuencia intermedia en la que viaja la señal.

Hay que tener en cuenta que la señal entre IDU y ODU no se transporta por el cable a la frecuencia de trabajo (en este caso a 38 GHz) si no que lo hace a una frecuencia intermedia que suele estar en el orden de los 400 MHz con lo que las pérdidas introducidas por el cable no suelen ser muy importantes en un diseño, aunque sí deben ser tenidas en cuenta.

Se instalan conectores tipo N hembra en los extremos del cable y dicho cable se eleva sin que sufra fracturas en su interior y por el camino más corto hasta la ODU, a la que se conecta. El otro conector permite la conexión del cable con la IDU, por lo que, tras ello, ODU e IDU estarán conectadas.

Se recomiendan dos tipos de cable coaxial:

- Alcatel-Lucent ET 390998, adecuado para cables de hasta 180 m.
- Alcatel-Lucent HPL 50-1 / 4 XF, adecuado para cables de hasta 80 m.

El cable Alcatel-Lucent ET 390998 es un tipo RG-8 de baja pérdida, por tanto, se elegirá éste para la instalación.

En general, aunque en este caso no se aplica, el cable coaxial debe estar conectado a tierra en:

- El punto donde llega a la torre desde la ODU.
- El punto donde sale de la torre para ir al edificio del equipo.
- Intervalos de cada 25 metros en la torre si la altura en la torre excede de 50 metros.
- Un punto justo antes de la entrada del edificio.

En la Figura 3-37, se presenta el esquema de una instalación cualquiera. Para este proyecto habría que sustituir la torre por un mástil.

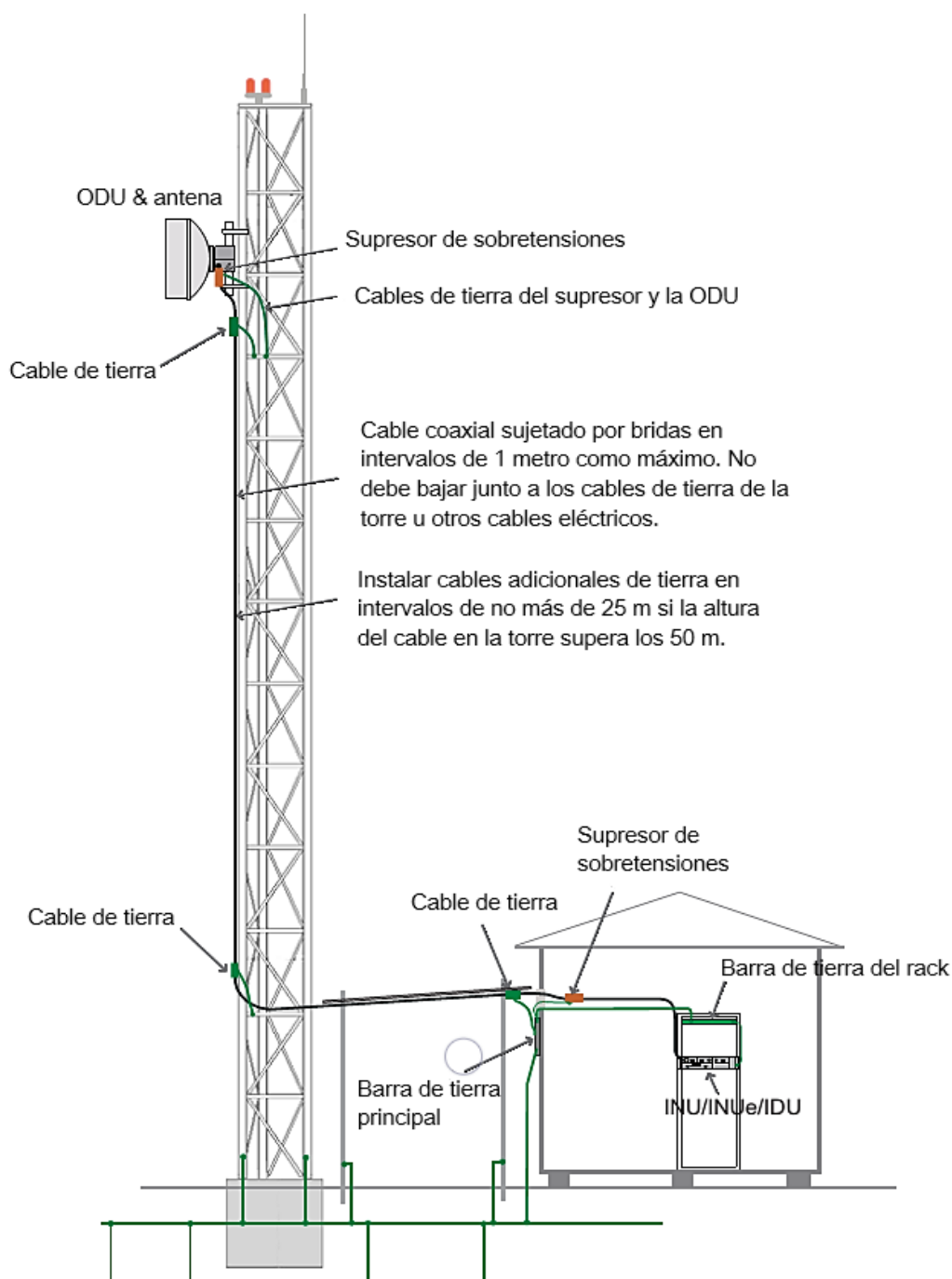


Figura 3-37. Esquema de la instalación. [28]

El cableado dentro del rack se guiará por los laterales y los cables permanecerán paralelos y sin cruces entre ellos. El cable de IF se llevará sujeto con bridas de exterior cada 80cm como mínimo. El coaxial de IF accederá al rack por la parte inferior, accediendo por el lateral del rack hasta el puerto IF del IDU.

Todas las curvas realizadas a los cables se realizarán dentro de los límites del radio de curvatura mínimo especificado por el fabricante sin llegar a sobrepasarlo. Los cables de tierra y de alimentación irán separados de los cables de datos para minimizar interferencias.

- Alineamiento de antenas. Una vez encendidos todos los equipos, la ODU transmitirá con los ajustes de potencia y frecuencia preconfigurados, y tras ello, se procede al alineamiento de las antenas que implica ajustar la dirección de cada antena hasta que la intensidad de la señal recibida alcance su nivel máximo en cada extremo del enlace.

Hay que asegurar que las antenas estén alineadas al haz principal y no en algún lóbulo lateral. La señal más fuerte ocurre en el centro del haz principal. La señal del primer lóbulo lateral más alta es 20-25 dB menor que la señal del haz principal.

Tras realizar este último paso, el sistema se encontrará funcionando correctamente y a modo de resumen general se adjunta la Figura 3-38.

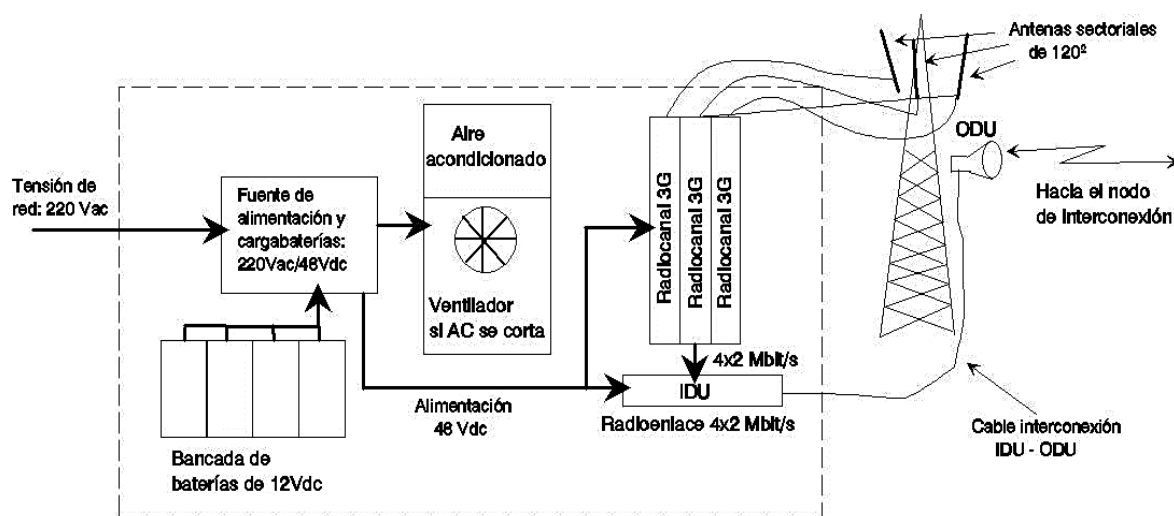


Figura 3-38. Esquema de elementos y conexionado en un emplazamiento de telefonía móvil. [29]

4 REGLAMENTO Y PROCEDIMIENTOS

La Ley General de Telecomunicaciones introdujo importantes novedades en el régimen jurídico de las telecomunicaciones, principalmente, para que los operadores tengan más facilidad en el despliegue de sus redes y en la prestación de sus servicios. Todo esto requiere la existencia de un elevado número de instalaciones radioeléctricas para proporcionar a los ciudadanos ofertas con mayor cobertura y calidad y en unas mejores condiciones de competitividad y productividad de la economía, siendo esto más apreciable en los servicios de telefonía móvil.

Para conseguir estos objetivos, el espectro radioeléctrico, cuya titularidad y administración corresponden al Estado, necesita de una regulación que permita un acceso más flexible al mismo por parte de operadores y usuarios, con un aprovechamiento efectivo y con máxima eficiencia.

Una de las medidas más importantes para alcanzar esa mayor flexibilidad consiste en aplicar una mayor simplificación administrativa, sustituyendo autorizaciones por declaraciones responsables o fijando modelos normalizados para llevar a cabo diferentes trámites administrativos, que pueden ir desde la solicitud de derechos de uso del espectro radioeléctrico hasta la puesta en servicio de las estaciones radioeléctricas.

Además, la ley introduce medidas destinadas a evitar el uso del espectro por quienes no disponen de autorización para ello, la cuál se obtiene tras las correspondientes autorizaciones administrativas para la aprobación del proyecto técnico y el reconocimiento de las instalaciones, garantizando así la disponibilidad y uso eficiente del espectro.

Toda la información recogida en este capítulo se ha obtenido de la Sede Electrónica del Ministerio de Industria, Comercio y Turismo [30] en el que tanto la documentación como su información relacionada se encuentra a disposición de los ciudadanos. Entre ella, se destacan el Reglamento sobre el uso del dominio público radioeléctrico [31], los tipos de estaciones radioeléctricas para los que se requiere una certificación sustitutiva del acto de reconocimiento técnico previo a la autorización para la puesta en servicio [32] o las restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria [33].

La presentación de los documentos debe realizarse por medios electrónicos, utilizando los procedimientos y formularios establecidos.

4.1 Reglamento sobre el uso del dominio público radioeléctrico

Este reglamento se basa en la administración del espectro radioeléctrico, identificando los diferentes usos y los correspondientes títulos habilitantes para el uso del dominio público radioeléctrico.

4.1.1 Dominio público radioeléctrico

Se considera dominio público radioeléctrico el espacio por el que pueden propagarse las ondas radioeléctricas, mientras que el espectro radioeléctrico son las ondas electromagnéticas cuya frecuencia se fija por debajo de 3.000 GHz y que se propagan por el espacio sin guía artificial.

El Estado tiene como objetivo el establecimiento de un marco jurídico que asegure unas condiciones determinadas para el uso del dominio público radioeléctrico y que permita su disponibilidad y uso eficiente, y desempeña un conjunto de acciones entre las que se destacan las siguientes:

- Planificación: elaboración y aprobación de planes de utilización del dominio público radioeléctrico.
- Gestión: establecimiento, de acuerdo con una planificación previa, de las condiciones técnicas de explotación y de los derechos de uso.
- Control: comprobación técnica de las emisiones radioeléctricas y su acondicionamiento a los derechos de uso establecidos y a los parámetros técnicos de utilización, localización y eliminación de interferencias, infracciones, irregularidades y alteraciones de los sistemas de radiocomunicaciones, la verificación del uso efectivo y eficiente del dominio público radioeléctrico por parte de los titulares, análisis de los niveles de exposición radioeléctrica, inspección técnica de instalaciones, equipos y aparatos radioeléctricos, así como el control de la puesta en el mercado.
- Aplicación del régimen sancionador.

La utilización del dominio público radioeléctrico se efectúa delimitando las bandas y canales atribuidos a cada uno de los servicios. Corresponde a la Secretaría de Estado para la Sociedad de la Información y la Agenda Digital (SESIAD) la elaboración de planes de utilización del dominio público radioeléctrico.

El Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF) define la atribución de bandas, subbandas, frecuencias, y canales, así como establece los tipos y condiciones de uso aplicables a cada banda de frecuencias.

La SESIAD gestiona un registro de los derechos de uso de frecuencias que han sido autorizados. En dicho registro se inscriben, además de los datos del titular, las características técnicas de explotación. Para garantizar la protección del secreto comercial o industrial de los titulares de derechos de uso del dominio público radioeléctrico y la seguridad pública, no se facilita información de los datos inscritos en el registro.

El uso del dominio público radioeléctrico puede ser común, especial o privativo:

- El uso común del dominio público radioeléctrico no precisa de ningún título habilitante para su uso, y se lleva a cabo en las bandas de frecuencias y con las características técnicas que se establecen en el CNAF.
- El uso especial del dominio público radioeléctrico es el que se lleva a cabo de las bandas de frecuencias habilitadas para su explotación de forma compartida, sin limitación de número de operadores o usuarios.
- El uso privativo del dominio público radioeléctrico es el que se realiza mediante la explotación, en exclusiva o por un número limitado de usuarios, de determinadas frecuencias en un mismo ámbito físico de aplicación.

El uso en este proyecto será privativo, ya que la explotación de ambos radioenlaces pertenece a un único operador, en este caso de telefonía móvil.

4.2 Procedimiento para poner en funcionamiento las estaciones de un radioenlace

La SESIAD es la encargada de aprobar los modelos de solicitud para la obtención de títulos habilitantes para el uso del dominio público radioeléctrico salvo para uso común, para la autorización de la instalación de estaciones radioeléctricas o para la autorización de la puesta en servicio. También es la encargada de los reconocimientos técnicos de las instalaciones previos a la autorización para la puesta en servicio, de informes de medidas, así como sus posibles modificaciones y documentación relacionada, que deberán ponerse a disposición de los ciudadanos a través de la sede electrónica del Ministerio de Industria, Comercio y Turismo.

Los títulos habilitantes mediante los que se conceden derechos de uso privativo del dominio público radioeléctrico son alguno de los siguientes:

- a) Autorización individual.
- b) Afectación demanial.
- c) Concesión administrativa.

La autorización individual se concede en los casos de uso privativo destinados a la autoprestación de servicios, a las emisiones con fines experimentales y a las emisiones para eventos de corta duración. En los demás casos, se requiere una concesión administrativa.

4.2.1 Obtención del título habilitante

La relación de bandas de frecuencias para redes terrestres en las que se limita el número de concesiones para su uso es la siguiente:

- a) 790 a 862 MHz.
- b) 880 a 915 y 925 a 960 MHz.
- c) 1452 a 1492 MHz.
- d) 1.710 a 1.785 y 1.805 a 1.880 MHz.
- e) 1.900 a 2.025 y 2.110 a 2.200 MHz.
- f) 2.500 a 2.690 MHz.
- g) 3,4 a 3,8 GHz.

Este proyecto, como se puede observar, al trabajar en la banda de 38 GHz, no tendrá limitación en el número de concesiones, por lo que el título habilitante para el uso privativo del dominio público radioeléctrico será concedido mediante el procedimiento general, tras presentar las solicitudes conforme a los modelos correspondientes ante la SESIAD.

Para el otorgamiento de una concesión administrativa, los solicitantes deberán reunir los siguientes requisitos:

- a) Tener la condición de operador de comunicaciones.
- b) No cometer ninguna de las prohibiciones de contratar reguladas en la Ley de Contratos del Sector Público.
- c) Haber realizado el pago de las tasas correspondientes a la tramitación de la concesión administrativa y cualquier otro requisito que pueda ser exigido.

El uso privativo del dominio público radioeléctrico para fines experimentales y eventos de corta duración es un caso particular de uso privativo sin limitación de número. Por ello, tienen la consideración de usos experimentales los destinados a efectuar pruebas técnicas o ensayos sobre propagación, utilización de nuevas bandas de frecuencia o demostraciones de nuevos servicios o tecnologías. Los eventos de corta duración incluyen los acontecimientos deportivos, culturales u otros de especial interés.

A la solicitud del título habilitante para el uso del dominio público radioeléctrico y de autorización para realizar la instalación, debe acompañarse una memoria técnica que incluya una descripción del servicio a prestar, la red radioeléctrica, las estaciones y los equipos que se quieren utilizar, indicando sus características técnicas y ubicación, y el período de utilización.

La solicitud de título habilitante para el uso del dominio público radioeléctrico para la cobertura de eventos de corta duración o para fines experimentales se presenta ante la SESIAD con una antelación de, al menos, diez días hábiles al comienzo del período de utilización solicitado.

La banda reservada de frecuencias constituye otro caso particular de uso privativo del dominio público radioeléctrico sin limitación de número que permite la reserva de una banda o subbanda de frecuencias o de un conjunto de canales radioeléctricos por parte de un determinado titular en una determinada zona geográfica. El uso de dicha banda puede ser compartido entre varios usuarios del mismo servicio de radiocomunicaciones.

4.2.2 Proyecto técnico y autorización para realizar la instalación

Antes de realizar el proyecto técnico correspondiente, habiendo obtenido previamente el título habilitante para el uso del dominio público radioeléctrico se tiene que identificar el tipo de estación radioeléctrica y para ello, existen dos tipos de clasificaciones que no son excluyentes entre sí.

La primera de ellas clasifica las estaciones según su potencia y entorno en los siguientes tipos:

- a) ER1: Estaciones radioeléctricas con potencia isotrópica radiada equivalente máxima superior a 10 vatios, en entorno urbano.
- b) ER2: Estaciones radioeléctricas con potencia isotrópica radiada equivalente máxima inferior o igual a 10 vatios y superior a 1 vatio, en entorno urbano.
- c) ER3: Estaciones radioeléctricas con potencia isotrópica radiada equivalente máxima superior a 10 vatios, en cuyo entorno no urbano permanecen habitualmente personas.
- d) ER4: Estaciones radioeléctricas con potencia isotrópica radiada equivalente máxima inferior o igual a 10 vatios y superior a 1 vatio, en cuyo entorno no urbano permanecen habitualmente personas.
- e) ER5: Estaciones radioeléctricas con potencia isotrópica radiada equivalente máxima superior a 1 vatio, en cuyo entorno no urbano no permanecen habitualmente personas.
- f) ER6: Estaciones radioeléctricas con potencia isotrópica radiada equivalente máxima inferior o igual a 1 vatio.

La permanencia habitual de personas en un entorno determinado consiste en la presencia, estable y prolongada en el tiempo, por parte de una misma persona. Por lo tanto, el tránsito de personas por un lugar determinado no constituye permanencia habitual de personas.

La segunda clasificación se hace en función de su movilidad y existen 3 tipos:

- a) Estación fija: Estación destinada a un uso permanente en un determinado emplazamiento.
- b) Estación móvil: Estación transportada por un vehículo destinada a ser utilizada en movimiento o, mientras esté detenida, en puntos no determinados.
- c) Estación portátil: Mismo concepto que el de estación móvil pero transportada por una persona.

Por tanto, las estaciones que se instalan en este proyecto son fijas, temporales y de tipología ER1. En un primer momento, se podría considerar el recinto ferial como entorno no urbano y en el que no permanecen habitualmente personas, por lo que las estaciones situadas en la zona de atracciones serían de tipo ER5, pero al estar el recinto ferial sobre suelo urbano, esta consideración no se puede realizar.

Tras identificar las estaciones se procede a la elaboración del proyecto y al estudio de emisiones radioeléctricas que acompañan a la solicitud de títulos habilitantes para uso privativo del dominio público radioeléctrico sin limitación de número.

4.2.2.1 Proyecto técnico

El proyecto técnico describe el servicio al que se destina la instalación de estaciones radioeléctricas indicando el propietario o responsable de las mismas, en el que se demuestre que el uso del dominio público radioeléctrico que se solicita permita solventar las necesidades iniciales, y es firmado por un técnico competente en materia de telecomunicaciones.

Se especifican las características técnicas de la estación radioeléctrica o red de estaciones que presten el mismo servicio, incluyendo sus coordenadas geográficas, la potencia máxima de emisión, la frecuencia y la tipología de cada estación fija y su zona de servicio, así como los planos topográficos en escala adecuada, y cualquier información que sea necesaria para la descripción técnica de la red como se puede observar en el formulario que debe ser entregado a la SESIAD en Anexo B.

4.2.2.2 Estudio previo de niveles de exposición radioeléctrica.

Los niveles de exposición son valorados teniendo en cuenta el entorno radioeléctrico y deben cumplir unos límites establecidos, restricciones de las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria.

Para realizar el estudio de dichos niveles, el técnico competente en materia de telecomunicaciones toma medidas, al menos, en cinco puntos cercanos a la estación radioeléctrica fija que se quiere instalar y, sobre ellas, se calcula el nivel que existiría al poner en servicio la estación.

En la planificación de todas las instalaciones radioeléctricas, los titulares deben tener en cuenta los siguientes criterios:

- La ubicación, características y condiciones de funcionamiento de las estaciones radioeléctricas deben minimizar los niveles de exposición del público en general a las emisiones manteniendo una adecuada calidad del servicio. De manera particular, se tienen en cuenta los niveles de emisión sobre espacios considerados sensibles (guarderías, colegios, centros de salud, hospitales, etc).
- En el caso de instalación de estaciones en las azoteas de edificios en zona urbana, los titulares deben intentar instalar la estación de manera que el diagrama de emisión no incida sobre el propio edificio, terraza o ático, ni sobre los edificios cercanos.
- Los operadores que comparten un mismo emplazamiento se facilitan unos a otros los datos técnicos necesarios para realizar el estudio de que el conjunto de instalaciones no supera los límites de exposición radioeléctrica.

4.2.2.3 Resolución del procedimiento.

Cuando sea preciso, para garantizar una gestión eficaz y eficiente del dominio público radioeléctrico, la SESIAD puede proponer la modificación del proyecto técnico presentado, manteniendo los objetivos de servicio propuestos por el solicitante o previstos en el título habilitante para el uso del dominio público radioeléctrico.

La SESIAD puede denegar la aprobación del proyecto técnico y la autorización para realizar las instalaciones por alguna de las siguientes causas:

- a) No adecuarse las características técnicas de la red que se pretende instalar a los planes de utilización del dominio público o al CNAF.
- b) No aceptar las modificaciones de las características técnicas del proyecto técnico que hayan sido propuestas por la SESIAD.

- c) No garantizar en las características de la red que se pretende instalar un uso eficaz y eficiente del dominio público radioeléctrico.

4.2.3 Instalación de estaciones radioeléctricas

La aprobación del proyecto técnico y la autorización para realizar la instalación es lo que habilita a su titular para realizar la instalación, y para emitir en pruebas por el tiempo preciso para poder comprobar el buen funcionamiento de la instalación radioeléctrica realizada. Estas emisiones en pruebas no habilitan al titular para la utilización del dominio público radioeléctrico, sino que sólo se pueden hacer medidas y comprobaciones técnicas.

Los titulares de derechos de uso del dominio público radioeléctrico pueden asignar a un tercero la realización de la instalación, operación o mantenimiento de las estaciones radioeléctricas y éste puede presentar, en nombre del titular, las solicitudes de autorización para la instalación, los proyectos técnicos o las declaraciones responsables correspondientes y las solicitudes de autorización para la puesta en servicio de las estaciones.

Cuando un operador reciba el encargo de realizar emisiones radioeléctricas por parte de entidades con su correspondiente título habilitante, debe comunicarlo previamente a la SESIAD y efectuar esas emisiones siguiendo las condiciones y características técnicas autorizadas.

4.2.4 Puesta en servicio

Tras realizar la instalación, antes de empezar a utilizar el dominio público radioeléctrico, el titular debe obtener la autorización para la puesta en servicio de la estación, o red de estaciones, tras ser realizada la inspección o el reconocimiento satisfactorio de las instalaciones.

En el caso de estaciones destinadas a eventos de corta duración se considera autorizada la puesta en servicio en las condiciones técnicas que se hubieran establecido en el correspondiente título habilitante.

La autorización para la puesta en servicio de una estación permite a su titular la utilización del dominio público radioeléctrico para dicha estación, y es concedida una vez que se haya procedido a la inspección o el reconocimiento técnico de las instalaciones por parte de la SESIAD, y se haya comprobado que se ajustan a las condiciones y características previamente autorizadas.

4.2.4.1 Solicitud de autorización para la puesta en servicio de las estaciones.

La solicitud para la puesta en servicio (ver Anexo C) que debe presentarse ante la SESIAD antes de comenzar a utilizar el dominio público radioeléctrico se acompaña con la documentación siguiente:

- a) Justificante del pago de las tasas de telecomunicaciones, correspondientes al acto de reconocimiento técnico de las instalaciones o, a la presentación de la certificación de instalación sustitutiva del reconocimiento técnico de la instalación previos a la autorización para la puesta en servicio.
- b) Certificación de instalación de la estación radioeléctrica sustitutiva del reconocimiento técnico previo a la autorización para la puesta en servicio, cuando sea el caso.
- c) Certificación de niveles de exposición radioeléctrica.

4.2.4.2 Reconocimiento técnico de las instalaciones previo a la autorización para la puesta en servicio.

El reconocimiento técnico de las instalaciones se realiza una vez que el titular de los derechos de uso del dominio público radioeléctrico haya presentado la solicitud de autorización para la puesta en servicio ante la SESIAD.

Si tras realizar el reconocimiento técnico se comprueba que lo que se ha instalado y lo que se autorizó no concuerda, se comunican las diferencias encontradas para que se resuelvan en el plazo máximo de un mes.

Para facilitar el reconocimiento técnico de las estaciones, el operador debe tener un protocolo de prevención de riesgos laborales que se aplique cuando los inspectores realicen intervenciones en las instalaciones.

4.2.4.3 Certificaciones de instalación sustitutivas del reconocimiento técnico previo a la autorización para la puesta en servicio.

En función del tipo de servicio, de la banda de frecuencias utilizada, de la importancia técnica de las instalaciones que se utilicen, se puede sustituir el reconocimiento técnico previo por una certificación realizada por un técnico competente y que garantiza que la instalación de la estación se ajusta al proyecto técnico aprobado. Cada certificación se refiere a una única estación. Este tipo de procedimiento facilita que se mejore la eficacia en las tareas de gestión del espectro radioeléctrico, sin disminuir el control de los niveles de exposición a las emisiones radioeléctricas. La información necesaria para presentar este tipo de certificaciones se encuentra en el Anexo D.

La puesta en servicio se entiende autorizada mediante la presentación de certificación de instalación sustitutiva del reconocimiento técnico previo a la autorización para la puesta en servicio en los casos que sea posible. En caso de que la SESIAD compruebe que la documentación presentada no se adapta a los requisitos necesarios se ordena al titular que detenga inmediatamente las emisiones.

Existen varios tipos de estaciones para los que se requiere una certificación sustitutiva, entre ellas, algunas relacionadas con servicios de radiodifusión sonora y de televisión, comunicaciones por satélite, televisión digital terrestre, radioastronomía e investigación espacial o autoprestación de servicios. También las estaciones radioeléctricas del servicio fijo con potencia isotrópica radiada equivalente máxima superior a 1 vatio, caso de este proyecto. Además de los servicios comentados, cualquier estación dedicada a cualquier otro servicio con potencia isotrópica radiada equivalente máxima superior a 1 vatio, que se encuentren situadas en entorno no urbano, o aquellas situadas en entorno urbano en las que no existan espacios considerados sensibles en un radio de 100 metros, requieren dicha certificación.

4.2.4.4 Certificado de niveles de exposición radioeléctrica.

Junto con la solicitud de puesta en servicio de la estación se presenta el certificado de niveles de exposición radioeléctrica, en el entorno urbano o donde haya permanencia habitual de personas, para cada estación fija con potencia isotrópica radiada equivalente superior a 10 vatios (caso de este proyecto para todas las estaciones). La medida de niveles de exposición radioeléctrica debe realizarse, como mucho, tres meses antes de presentar el certificado ante la SESIAD.

Dicho certificado será realizado por un técnico competente en materia de telecomunicaciones y tiene en cuenta la exposición simultánea de las emisiones de la estación que se quiere poner en servicio y de todas las posibles estaciones radioeléctricas que influyan en los puntos de medida, aunque sean de otros titulares o propietarios. Para realizar este certificado, el técnico competente toma medidas, al menos, en cinco puntos alrededor de la estación que se quiere poner en servicio, y que emitirá en ese momento sólo para poder realizar estas medidas.

El estudio realizado para cada estación radioeléctrica debe incluir la identificación del técnico competente que lo firma, las características técnicas de la estación y del entorno donde se encuentra (documentado con planos y según su tipología). Se representará la disposición de la estación en su entorno, mediante planos en las direcciones de máxima emisión de las antenas hacia las zonas más cercanas en las que pudieran permanecer habitualmente personas y que englobarán la superficie necesaria para representar el resultado de los cálculos de exposición. La información que se debe incluir en la presentación en la SESIAD, así como el formulario que es necesario entregar ante dicho organismo se encuentra en los Anexos E y F.

Para todas las estaciones, se dan los valores de los niveles de emisión radioeléctrica calculados en los puntos que se consideren más desfavorables según las direcciones de máximo nivel de emisión en áreas de su entorno en las que puedan permanecer habitualmente personas.

4.2.5 Otros datos

4.2.5.1 Restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria

Se establecen unos límites de exposición del público en general y condiciones de evaluación sanitaria para hacer frente a las emisiones radioeléctricas conforme a las recomendaciones europeas para garantizar la adecuada protección de la salud en zonas en las que puedan permanecer habitualmente personas y en la exposición a las emisiones de los equipos terminales.

Para conseguir la protección efectiva de la salud pública es necesario el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades se coordine con el Ministerio de Sanidad, Consumo y Bienestar Social en relación con los límites de emisiones y gestión y protección del dominio público radioeléctrico.

En la evaluación de riesgos sanitarios se tienen en cuenta el número de personas expuestas, las características epidemiológicas, edad, partes del organismo expuestas, tiempo de exposición y condiciones sanitarias de cada persona junto con otras variables que puedan ser relevantes. El Ministerio de Sanidad, Consumo y Bienestar Social desarrolla los criterios sanitarios con el fin de aplicar medidas para controlar, reducir o evitar dicha exposición.

Para frecuencias entre 10 GHz y 300 GHz, como se aprecia en la Figura 4-1, se proporcionan restricciones básicas de la densidad de potencia para prevenir el calentamiento de los tejidos en la superficie corporal o cerca de ella y se han establecido teniendo en cuenta las variaciones que pueden introducir las sensibilidades individuales y las condiciones medioambientales, así como el hecho de que la edad y el estado de salud de los ciudadanos varían.

Gama de frecuencia	Inducción magnética (mT)	Densidad de corriente (mA/m ²) rms	SAR medio de cuerpo entero (W/kg)	SAR Localizado (cabeza y tronco) (W/kg)	SAR Localizado (miembros) (W/kg)	Densidad de potencia S (W/m ²)
0 Hz	40					
>0-1 Hz		8				
1-4 Hz-		8/f				
4-1.000Hz		2				
1.000 Hz-100 kHz		f/500				
100 kHz-10 MHz		f/500	0,08	2	4	
10 MHz-10 GHz			0,08	2	4	
10-300 GHz						10

Figura 4-1. Restricciones básicas para campos electromagnéticos (0 Hz-300 GHz)

Gama de frecuencia	Intensidad de campo E (V/m)	Intensidad de campo H (A/m)	Campo B (μ T)	Densidad de potencia equivalente de onda plana (W/m ²)
0-1 Hz		$3,2 \times 10^4$	4×10^4	
1-8 Hz	10.000	$3,2 \times 10^4/f^2$	$4 \times 10^4/f^2$	
8-25 Hz	10.000	$4.000/f$	$5.000/f$	
0,025-0,8 kHz	$250/f$	$4/f$	$5/f$	
0,8-3 kHz	$250/f$	5	6,25	
3-150 kHz	87	5	6,25	
0,15-1 MHz	87	$0,73/f$	$0,92/f$	
1-10 MHz	$87/f^{1/2}$	$0,73/f$	$0,92/f$	
10-400 MHz	28	0,073	0,092	2
400-2.000 MHz	$1,375 f^{1/2}$	$0,0037 f^{1/2}$	$0,0046 f^{1/2}$	$f/200$
2-300 GHz	61	0,16	0,20	10

Figura 4-2. Niveles de referencia para campos electromagnéticos (0 Hz-300 GHz, valores rms imperturbados)

El cumplimiento del nivel de referencia, los cuáles se muestran en la Figura 4-2, garantiza el cumplimiento de la restricción básica relacionada. Que el valor medido supere el nivel de referencia no quiere decir vaya a superar la restricción básica. En este caso, debe evaluarse para comprobar si los niveles de exposición son inferiores a las restricciones básicas.

4.2.5.2 Interferencias

En los servicios punto a punto, la existencia de interferencia perjudicial sobre el servicio de una estación radioeléctrica se produce siempre que la potencia de la señal interferente supere la diferencia entre la potencia a proteger y la relación de protección.

En todo caso, existe interferencia perjudicial cuando la señal interferente no respeta la relación de protección establecida en la normativa nacional o por las normas técnicas o recomendaciones aprobadas por los organismos internacionales.

Los titulares habilitados para el uso del dominio público radioeléctrico que lo utilicen en las condiciones autorizadas y que dispongan de la autorización para la puesta en servicio tienen derecho a protección frente a interferencias perjudiciales causadas por cualquier otra estación o equipo, y pueden reclamar la correspondiente protección ante la SESIAD.

5 CONCLUSIONES

La elaboración de un trabajo de este tipo, en el que se tratan aspectos de diseño que se llevan a cabo en la realidad, supone que se adquieran conocimientos de todo el proceso más allá de resolver un problema teórico realizando los cálculos pertinentes. En este proyecto ha sido necesario buscar equipos y antenas reales en el mercado con algunas limitaciones, como, por ejemplo, que las características y precios de muchos equipos no sean publicadas por los fabricantes ya que sólo están disponibles para empresas privadas con las que tienen acuerdos. También ha sido una buena toma de contacto para conocer los procedimientos necesarios tanto burocráticos como para la instalación física en sí.

Uno de los aspectos que podría hacer el proyecto aún más real sería visitar los emplazamientos y observar con detenimiento las instalaciones realizadas tanto en los edificios como en las atracciones, así como los elementos que se encuentran en ellos.

También se puede destacar la motivación por ser un proyecto sobre uno de los eventos más importantes que se desarrollan en Andalucía y que es importante para que los ciudadanos que la disfrutan no vean perjudicadas sus conexiones.

Tener conocimientos básicos sobre el uso del software de planificación radioeléctrica ICS Telecom permitió no tener que empezar de cero y favoreció el manejo del mismo con las tareas a desarrollar. En este punto se destacan las simulaciones y los análisis llevados a cabo que ratifican el buen funcionamiento del sistema completo. El único aspecto que se podría mejorar es que se usaron capas de cartografía con baja resolución y sin disponer de la capa de edificios lo que hizo algo más complejo el desempeño con el programa.

Anexo A. Especificaciones técnicas del equipo y antena utilizados en el proyecto. [24] [26]

Alcatel-Lucent 9500 Microwave Cross-Connect

The Alcatel-Lucent 9500 Microwave Cross-Connect (MXC) is a flexible, multiservice wireless transport platform for medium- to high-capacity mixed traffic. Offering a new generation of digital, point-to-point microwave radio capabilities, the 9500 MXC provides an effective way to meet the growing demand for high-capacity applications.



9500 MXC terminal with IDU and ODU



9500 MXC node with outdoor unit (ODU) and indoor unit (IDU)



Intelligent Node Unit (INUe) with up to 10 card slots

The compact Alcatel-Lucent 9500 MXC supports SDH/SONET and "super PDH" applications — up to 75 E1 — with higher flexibility afforded by its integrated cross-connection capabilities. It can also support fixed applications such as DSL and WiMAX backhauling, due to its multiple interfaces, including PDH, SDH and Ethernet with integrated Layer-2 switching. The 9500 MXC is a reliable, complete, homogeneous series, from 6 GHz to 38 GHz. Its unique network management capabilities serve both small and large networks, and its compact design enables easy installation while ensuring that maximum commonality is achieved across frequencies and capacities.

Benefits

- Spectrum efficiency to support increasing broadband traffic
- High reliability
- Reduced costs – with a modular design and cost-optimized IDUs for SDH and Ethernet applications
- Easy installation and reduced cabling
- Enhanced customer satisfaction with QoS management

Applications

- Wireless point-to-point
- Mobile, private and carrier network infrastructures
- SDH, high-capacity PDH and Ethernet radio transmissions
- Local traffic aggregation
- High-capacity aggregation
- Backhauling for DSL, WiMAX and PC networks

Features

- High-capacity transport for mixed data and TDM traffic
 - SDH capacity up to 2xSTM-1
 - PDH capacity up to 106xE1 or 8xE3
 - Ethernet capacity up to 200 Mb/s full-duplex
 - Gigabit Ethernet capacity up to 600 Mb/s with link aggregation and Layer 2 switch integrated
- High-integration design that delivers high reliability
- Terminal integrated solutions for 1xSTM-1, 20xE1 or Fast Ethernet + 8xE1 configurations

- Node configuration and integrated cross-connection functionalities
 - Flexible aggregate capacity sharing between E1s and Ethernet
 - Powerful embedded traffic routing with E1 cross-connect
 - Nodal capabilities supporting up to six radio paths (with INUe)
- Universal ODU (16, 32, 64, 128 and 256 QAM; 64 Mb/s to 311 Mb/s)
- Java™-based craft terminal
- Full software configurable modulation and capacity
- Highly modular architecture

Technical specifications

Configurations

- Unprotected
- 1+1 hot-standby
- 1+1 space diversity
- 1+1 frequency diversity
- Co-channel cross-pol operation (XPIC)
- Repeater with traffic add-drop
- 3-, 4-, 5- and 6-way nodal configuration with traffic routing
- E1 and STM-1 line protection

System-level specifications

- Operating frequencies: 6, 7, 8, 10.5, 11, 13, 15, 18, 23, 26, 28 and 38 GHz
- Modulation options: QPSK, 16, 32, 64, 128 and 256 QAM
- Capacity ranges: 32, 40, 48, 52, 64, 75, 93 and 106 E1; 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 and 8 E3; 1 and 2 STM-1

Power requirements

- Input voltage range: -40 to -60 V DC
- Power consumption
 - IDU: 10 W
 - INU and INUe: dependent on cards installed:
 - Radio Access Card: 6 W
 - Digital Access Card: 3 W
 - Node Control Card: 4 W
 - Node Protection Card: 4 W
 - Fan Unit: 2 W
 - ODU: 50 W maximum

Dimensions

IDU and INU

- Height: 44.5 mm (1.75 in)
- Width: 480 mm (18.9 in)
- Depth: 300 mm (11.8 in)

INUe

- Height: 89 mm (3.50 in)
- Width: 480 mm (18.90 in)
- Depth: 300 mm (11.81 in)

ODU

- Height: 284 mm (11.18 in)
- Width: 284 mm (11.18 in)
- Depth: 162 mm (6.38 in)

Environmental

- IDU and INU: -5°C to +45°C
- INUe: -50°C to +65°C
- ODU: -33°C to +55°C

Standards compliance

- EMC: EN 301 489
- Operation
 - ODUs: ETS 300 019, Class 4.1
 - IDUs: ETS 300 019, Class 3.2
- Storage: ETS 300 019, Class 1.2
- Transportation: ETS 300 019, Class 2.3
- Radio frequency: EN 302 217
- Safety: EN 60950
- Water ingress (ODUs) IEC 60529 (IPX6)

Table 1. Technical summary (Part 1)

Modulation scheme	QPSK, 16 QAM, 32 QAM, 64 QAM, 128 QAM, 256 QAM (software selectable)						
Capacity	PDH ETSI: 20,40, 52, 64, 75, 93 and 106 E1						
	SDH: STM-1, 2xSTM-1 single-carrier at 56 MHz, 2xSTM-1 XPIC						
	LAN: 4x 10/100 BASE-T(X), 1000 BASE-LX, 3x1000 BASE-T						
Channel spacing (MHz) and modulation options	7 (5 E1), 14 (10 E1), 28 (20 E1) for QPSK						
	7 (10 E1), 14 (20 E1), 28 (32 E1), 28(40 E1), 56 (64 E1), 56 (75 E1), 56 (STM-1) for 16 QAM						
	14 (27 E1), 28 (52 E1) for 32 QAM						
	7 (16 E1), 14 (32 E1), 28 (64 E1), 56 (100 E1), 40 (STM-1) for 64 QAM						
	28 (75 E1), 28 (STM-1), 56 (2xSTM-1) for 128 QAM						
	28 (93 E1) for 256 QAM						
Configurations	1+0, 1+1 HSB/SD/FD, 1+1 HSB XP, 2+0						
ODU300hp RF SPECIFICATIONS		L6/U6 GHz	7.0 GHz	8.0 GHz	10.5 GHz	11.0 GHz	
SYSTEM							
Frequency range, GHz		5.925 to 6.425 6.425 to 7.11	7.125 to 7.9	7.725 to 8.5	10.0 to 10.68	10.7 to 11.7	
T-R spacings supported, MHz		252.04 340	154, 161, 168, 196, 245	119, 126, 151.614, 266, 311.32	91, 230, 143.5, 350	490, 530	
Maximum tuning range (dependent upon T-R spacing), MHz		56	56	140	165	165	
TRANSMITTER SPECIFICATIONS							
Power output, nominal (dBm)		QPSK	28.5	28.5	28.5	26.0	24.0
		16 QAM	26.5	26.5	26.5	24.0	22.0
		32 QAM	26.0	26.0	26.0	23.5	21.5
		64 QAM [2]	25.5	25.5	25.5	23.0	21.0
		128 QAM	24.5	24.5	24.5	22.0	20.0
		256 QAM	22.5	22.5	22.5	20.0	18.0
RECEIVER SPECIFICATIONS [1] [3]							
	CAPACITY	CHANNEL	MODULATION				
Threshold at 10 ⁻⁶ BER (dBm)	5xE1	7.0 MHz	QPSK	-92.0	-92.0	-92.0	-91.5
	10xE1	13.75/14.0 MHz	QPSK	-89.0	-89.0	-89.0	-88.5
	20xE1	27.5/28.0 MHz	QPSK	-86.0	-86.0	-86.0	-85.5
	10xE1	7.0 MHz	16 QAM	-85.5	-85.5	-85.5	-85.0
	20xE1	13.75/14.0 MHz	16 QAM	-82.5	-82.5	-82.5	-82.0
	27xE1	13.75/14.0 MHz	32 QAM	-78.5	-78.5	-78.5	-78.0
	32xE1	27.5/28.0 MHz	16 QAM	-80.5	-80.5	-80.5	-80.0
	32xE1	13.75/14.0 MHz	64 QAM	-75.5	-75.5	-75.5	-75.5
	40xE1	27.5/28.0 MHz	16 QAM	-79.5	-79.5	-79.5	-79.0
	52xE1	27.5/28.0 MHz	32 QAM	-76.0	-76.0	-76.0	-75.5
	64xE1	27.5/28.0 MHz	64 QAM	-72.5	-72.5	-72.5	-72.0
	64xE1	27.5/28.0 MHz	64 QAM	-74.0	-74.0	-74.0	-73.5
RAC 3X/40	75xE1, 1xSTM1	55.0/56.0 MHz	16 QAM	-76.5	-76.5	-76.5	
	75xE1, 1xSTM1	40.0 MHz	64 QAM	-74.0			-73.5
	75xE1, 1xSTM1	27.5/28.0 MHz	128 QAM	-69.5	-69.5	-69.5	-69.0
	75xE1, 1xSTM1	27.5/28.0 MHz	128 QAM	-71.0	-71.0	-71.0	-70.5
RAC 3X/40	93xE1	27.5/28.0 MHz	256 QAM	-65.5	-65.5	-65.5	-65.0
	106xE1	55.0/56.0 MHz	64 QAM				
	8xE3, 2xSTM1	55.0/56.0 MHz	128 QAM	-66.0	-66.0	-66.0	

All specifications are referenced to the ODU antenna flange, and are typical values unless otherwise stated, and are subject to change without notice.

For guaranteed values (over time and operational range) subtract 2 dB from power output, add 2dB to threshold values, and subtract 4 dB from system gain values.

[1] System gain and receiver threshold values are for BER = 10⁻⁶. Values for BER = 10⁻³ are improved by 1 dB.

[2] Transmit power output values for 64xE1 64 QAM will be reduced by 1 dB from the 64QAM value indicated.

[3] Receiver threshold values are for BER=10⁻⁶. Values for BER = 10⁻³ are improved by 1 dB.

Table 1. Technical summary (Part 2)

Modulation scheme				QPSK, 16 QAM, 32 QAM, 64 QAM, 128 QAM, 256 QAM (software selectable)							
Capacity				PDH ETSI: 20,40, 52, 64, 75, 93 and 106 E1							
				SDH: STM-1, 2xSTM-1 single-carrier at 56 MHz, 2xSTM-1 XPIC							
				LAN: 4x 10/100 BASE-T(X), 1000 BASE-LX, 3x1000 BASE-T							
Channel spacing (MHz) and modulation options				7 (5 E1), 14 (10 E1), 28 (20 E1) for QPSK							
				7 (10 E1), 14 (20 E1), 28 (3 2E1), 28(40 E1), 56 (64 E1), 56 (75 E1), 56 (STM-1) for 16 QAM							
				14 (27 E1), 28 (52 E1) for 32 QAM							
				7 (16 E1), 14 (32 E1), 28 (64 E1), 56 (100 E1), 40 (STM-1) for 64 QAM							
				28 (75 E1), 28 (STM-1), 56 (2xSTM-1) for 128 QAM							
				28 (93 E1) for 256 QAM							
Configurations				1+0, 1+1 HSB/SD/FD, 1+1 HSB XP, 2+0							
ODU300hp RF SPECIFICATIONS				13.0 GHz	15.0 GHz	18.0 GHz	23.0 GHz	26.0 GHz	28.0 GHz	32.0 GHz	38.0 GHz
SYSTEM											
Frequency range, GHz				12.75 to 13.25	14.4 to 15.35	17.7 to 19.7	21.2 to 23.632	24.52 to 26.483	27.5 to 29.5	31.8 to 33.4	37.0 to 39.46
T-R spacings supported, MHz				266	315, 420, 490, 644, 728	1010, 1092.5	1008, 1200, 1232	1008	1008	812	1260
Maximum tuning range (dependent upon T-R spacing), MHz				84	245	380	370	360	360	370	340
TRANSMITTER SPECIFICATIONS											
Power output, nominal (dBm)				23.0	22.0	19.5	19.5	15.5	15.0	18.0	17.5
				21.0	20.0	17.5	17.5	13.5	13.0	16.0	15.5
				20.5	19.5	17.0	17.0	13.0	12.5	15.5	15.0
				20.0	19.0	16.5	16.5	12.5	12.0	15.0	14.5
				19.0	18.0	15.5	15.5	11.5	11.0	14.0	13.5
				17.0	16.0	13.5	13.5	9.5	9.0	12.0	11.5
RECEIVER SPECIFICATIONS [1] [3]	CAPACITY	CHANNEL	MODULATION								
Threshold at 10 ⁻⁶ BER (dBm)	5xE1	7.0 MHz	QPSK	-91.5	-91.5	-91.0	-91.0	-90.0	-89.0	-89.0	-88.5
	10xE1	13.75/14.0 MHz	QPSK	-89.0	-88.5	-88.5	-88.0	-87.0	-86.5	-86.0	-86.0
	20xE1	27.5/28.0 MHz	QPSK	-86.0	-85.5	-85.5	-85.0	-84.0	-83.5	-83.0	-83.0
	10xE1	7.0 MHz	16 QAM	-85.0	-85.0	-84.5	-84.5	-83.5	-82.5	-82.0	-82.0
	20xE1	13.75/14.0 MHz	16 QAM	-82.0	-82.0	-81.5	-81.5	-80.5	-79.5	-79.0	-79.0
	27xE1	13.75/14.0 MHz	32 QAM	-78.0	-78.0	-77.5	-77.5	-76.5	-75.5	-75.0	-75.0
	32xE1	27.5/28.0 MHz	16 QAM	-80.0	-80.0	-79.5	-79.5	-78.5	-77.5	-77.0	-77.0
	32xE1	13.75/14.0 MHz	64 QAM	-75.5	-75.0	-75.0	-74.5	-73.5	-72.5	-72.0	-72.0
	40xE1	27.5/28.0 MHz	16 QAM	-79.0	-79.0	-78.5	-78.5	-77.5	-76.5	-76.0	-76.0
	52xE1	27.5/28.0 MHz	32 QAM	-75.5	-75.5	-75.0	-75.0	-74.0	-73.0	-72.5	-72.5
	64xE1	27.5/28.0 MHz	64 QAM	-72.5	-72.0	-72.0	-71.5	-70.5	-69.5	-69.0	-69.0
RAC 3X/40	64xE1	27.5/28.0 MHz	64 QAM	-73.5	-73.5	-73.0	-73.0	-72.0	-70.5	-70.5	-70.0
	75xE1, 1xSTM1	55.0/56.0 MHz	16 QAM	-76.0	-76.0	-76.0	-75.5	-74.5	-73.5	-73.0	-73.0
	75xE1, 1xSTM1	40.0 MHz	64 QAM								
	75xE1, 1xSTM1	27.5/28.0 MHz	128 QAM	-69.5	-69.0	-69.0	-68.5	-67.5	-66.0	-65.5	-65.5
RAC 3X/40	75xE1, 1xSTM1	27.5/28.0 MHz	128 QAM	-70.5	-70.5	-70.0	-70.0	-69.0	-67.0	-67.0	-66.5
	93xE1	27.5/28.0 MHz	256 QAM	-65.0	-65.0	-64.5	-64.5	-62.5	-61.5	-61.5	-60.5
	106xE1	55.0/56.0 MHz	64 QAM			-71.5	-71.0	-69.5	-69.0	-68.5	-68.5
	8xE3, 2xSTM1	55.0/56.0 MHz	128 QAM	-66.0	-65.5	-65.5	-65.0	-64.0	-62.5	-62.0	-62.0

All specifications are referenced to the ODU antenna flange, and are typical values unless otherwise stated, and are subject to change without notice.

For guaranteed values (over time and operational range) subtract 2 dB from power output, add 2dB to threshold values, and subtract 4 dB from system gain values.

[1] System gain and receiver threshold values are for BER = 10⁻⁶. Values for BER = 10⁻³ are improved by 1 dB.

[2] Transmit power output values for 64xE1 64 QAM will be reduced by 1 dB from the 64QAM value indicated.

[3] Receiver threshold values are for BER=10⁻⁶. Values for BER = 10⁻³ are improved by 1 dB.

Table 2. Dispersive Fade Margin

DISPERSIVE FADE MARGIN (DFM)					
		GROSS BIT RATE Mbit/s [1]	MODULATION OPTIONS	SYMBOL RATE Mbaud	DFM RAC 30/3X/40
Capacity/modulation	4xE1	9.4	QPSK (16 QAM)	4.7 (2.4)	
	5xE1	11.5	QPSK (16 QAM)	5.8 (2.9)	76 (78)
	8xE1	18.8	QPSK (16 QAM)	9.4 (4.7)	
	10xE1	22.8	QPSK (16 QAM)	11.4 (5.7)	72 (74)
	16xE1/1xE3	37.6	QPSK (16 QAM/64 QAM)	18.8 (9.4)	71 (75/67)
	20xE1	44.9	QPSK (16 QAM)	22.5 (11.2)	69 (67)
	32xE1/2xE3	75.2	16 QAM (64 QAM)	18.8 (9.4)	64 (64)
	40xE1	88.9	16 QAM	22.2	58
	48xE1/3xE3	106.8	32 QAM	21.4	58
	52xE1	116.6	32 QAM	23.3	54
	64xE1	142.4	64 QAM	23.7	52
	75xE1	167.8	128 QAM (16 QAM/64 QAM)	24.0 (42/28)	49 (52/52)
	93xE1		256 QAM		
	100xE1		32 QAM		
	106xE1	250.8	64 QAM	41.8	45
	1xE3	37.6	QPSK (16 QAM)	18.8 (9.4)	71 (75)
	2xE3	75.2	16 QAM (64 QAM)	18.8 (12.5)	67 (61)
	3xE3	112.8	32 QAM	22.6	55
	4xE3	150.4	128 QAM	21.5	51
	1xSTM1	167.0	128 QAM (16 QAM/64 QAM)	23.9 (41.8/27.8)	49 (52/52)
	2xSTM1	334.0	128 QAM (256 QAM)	47.8 (41.8)	42 (40)

All specifications are typical values unless otherwise stated, and are subject to change without notice.

[1] Gross bit rate includes usable customer payload plus radio overhead for FEC, NMS, AUX traffic, among others.

Table 3. Standards compliance

EMC	INU/INUe		EN 301 489-1, EN 301 489-4 (EN 55022 Class A)
	IDU		EN 301 489-1, EN 301 489-4 (EN 55022 Class B)
Operation	ODUs		ETS 300 019, Class 4.1
Operation	INU/INUe/IDU		ETS 300 019, Class 3.2
Storage			ETS 300 019, Class 1.2
Transportation			ETS 300 019, Class 2.3
Safety			IEC 60950-1/EN 60950-1
Radio frequency			EN 302 217 Classes 2, 4 and 5B
Water ingress	ODU		IEC 60529 (IPX6)
ENVIRONMENTAL			
Operating temperature	INU/INUe/IDU	Guaranteed	-5° C to +45° C (23° F to +113° F)
	INU/INUe/IDU	Extended [1]	-5° C to +55° C (23° F to +131° F)
	ODU	Guaranteed	-33° C to +55° C (-27° F to +131° F)
	ODU	Extended [1]	-50° C to +65° C (-58° F to +149° F)
Humidity	INU/INUe/IDU	Guaranteed	0% to 95%, non-condensing
	ODU	Guaranteed	0% to 100%
Altitude		Guaranteed	500 meters (15,000 ft)

[1] Over full extended operating temperature, the 9500 MXC may be subject to reduced performance. Contact Alcatel-Lucent for more details.

Product Specifications

COMMSCOPE®


VHLP200-38

0.2 m | 0.67 ft ValuLine® High Performance Low Profile Antenna, single-polarized, 37.000–40.000 GHz

Product Classification

Brand	ValuLine®
Product Type	Microwave antenna

General Specifications

Antenna Type	VHLP - ValuLine® High Performance Low Profile Antenna, single-polarized
Diameter, nominal	0.2 m 0.67 ft
Polarization	Single

Electrical Specifications

Beamwidth, Horizontal	2.6 °
Beamwidth, Vertical	2.6 °
Cross Polarization Discrimination (XPD)	30 dB
Front-to-Back Ratio	60 dB
Gain, Low Band	34.1 dBi
Gain, Mid Band	34.5 dBi
Gain, Top Band	34.9 dBi
Operating Frequency Band	37.000 – 40.000 GHz
Radiation Pattern Envelope Reference (RPE)	7142
Return Loss	17.7 dB
VSWR	1.30

Mechanical Specifications

Fine Azimuth Adjustment	±10°
Fine Elevation Adjustment	±25°
Mounting Pipe Diameter	50 mm–115 mm 2.0 in–4.5 in
Net Weight	7 kg 14 lb
Side Struts, Included	0
Side Struts, Optional	0
Wind Velocity Operational	200 km/h 124 mph
Wind Velocity Survival Rating	250 km/h 155 mph

Wind Forces At Wind Velocity Survival Rating

Axial Force (FA)	200 N 45 lbf
Side Force (FS)	90 N 20 lbf
Twisting Moment (MT)	70 N•m
Weight with 1/2 in (12 mm) Radial Ice	13 kg 28 lb

Existe diversa documentación e información relacionada con las estaciones radioeléctricas, pero en estos anexos se exponen sólo los documentos relacionados con el proyecto elaborado en este Trabajo Fin de Grado. En los siguientes anexos, se presenta la información y los formularios correspondientes obtenidos de la Sede Electrónica del Ministerio de Industria, Comercio y Turismo. [30]

ANEXO B. Modelo de certificación de estaciones en proyecto. [34]

Don/doña, NIF, titulación, número de Colegiado....., en cumplimiento del Real Decreto 1066/2001, de 28 de septiembre, por el que se aprueba el Reglamento que establece condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitarias frente a emisiones radioeléctricas («Boletín Oficial del Estado» del 29) y del apartado tercero de la Orden por la que se establecen condiciones para la presentación de determinados estudios y certificaciones por operadores de servicios de radiocomunicaciones,

CERTIFICA: Que la estación proyectada cuyas características se especifican a continuación cumple los límites de exposición establecidos en el anexo II del mencionado Reglamento, de acuerdo con los cálculos técnicos efectuados al respecto.

Características técnicas de la estación proyectada (Para cada estación se adjuntará en soporte papel e informático los datos especificados a continuación.)

1. Características generales: Tipo de sistema (LMDS, UMTS, GSM, soporte de difusión,...). Operador (nombre o razón social). Tipo de estación (ER1, ER2,...).
2. Datos correspondientes al emplazamiento: Situación (calle, plaza o lugar geográfico). Población. Término municipal. Provincia. Coordenadas geográficas (grados, minutos y segundos). Cota del terreno s/nivel del mar (m). Altura de la antena s/terreno (m). ¿Se trata de un emplazamiento compartido? (Sí/No).
3. Características radioeléctricas de la estación (este apartado se rellenará para cada uno de los sectores de radiación): Código identificativo de la estación. Sector de radiación. Frecuencias de transmisión. Polarización. Ganancia de la antena. Pire máxima por portadora. Número de portadoras. Pire máxima total. Acimut de máxima radiación (grados). Abertura horizontal del haz (grados). Abertura vertical del haz (grados). Inclinação del haz sobre la horizontal (grados). Nivel lóbulos secundarios.
4. Cálculo de los niveles de emisión radioeléctrica. Informe de medidas de acuerdo con los formatos señalados en el procedimiento para la realización de las mismas (anexo IV).
5. Información adicional. Planos, esquemas, fotografías, justificación de minimización de los niveles de exposición, etc., conforme a lo especificado en apartado tercero de la Orden citada.

Fdo.: Visado del Colegio Profesional

En el formulario que se tendría que entregar en la SESIAD y que se encuentra a continuación, sólo se añade el resto de estaciones radioeléctricas en las que se encontrarían las estaciones para servicio fijo, ya que los otros apartados del documento pertenecen a otro tipo como estaciones de telefonía, acceso inalámbrico o radiodifusión y por ello, se han suprimido en este trabajo.

Certificación de instalación de estaciones radioeléctricas

D./D^a [REDACTED], con NIF/NIE [REDACTED], y título académico de [REDACTED], expedido por la Universidad [REDACTED], y domicilio en [REDACTED], con código postal [REDACTED] y con correo electrónico para envío de avisos de notificación [REDACTED] y, en su caso, colegiado número [REDACTED], del Colegio Oficial de [REDACTED].

CERTIFICA

1. Que está habilitado profesional y legalmente para la firma de la certificación.
2. Que la empresa instaladora de telecomunicaciones [REDACTED], con NIF [REDACTED], con domicilio a efectos de notificación en [REDACTED], con código postal [REDACTED], e inscrita en el *Registro de Empresas Instaladoras de Telecomunicación* de la Secretaría de Estado para la Sociedad de la Información y la Agenda Digital para instalaciones de estaciones de radiocomunicaciones (tipo D) con número de registro [REDACTED], ha realizado la instalación correspondiente al expediente administrativo con referencia [REDACTED], que consta de un número total de [REDACTED] estaciones con p.i.r.e. máxima mayor a 1 W, de las cuales se han instalado [REDACTED] estaciones nuevas y se han modificado [REDACTED] estaciones previamente instaladas.
3. Que ha revisado en fechas [REDACTED] la instalación de las estaciones que se pretenden poner en servicio.
4. Que los parámetros técnicos de las estaciones,
 - ☐ incorporados en un fichero XML incluido junto con este certificado,
 - ☐ descritos en el apartado “Principales características de las estaciones”,se ajustan al proyecto técnico aprobado y a las condiciones previamente autorizadas por la Secretaría de Estado para la Sociedad de la Información y la Agenda Digital.
5. Que ha comprobado que todos los equipos instalados disponen del marcado de Conformidad Europea (CE) y de la declaración de conformidad del fabricante, en conformidad con el Real Decreto 188/2016, de 6 de mayo, *por el que se aprueba el Reglamento por el que se establecen los requisitos para la comercialización, puesta en servicio y uso de equipos radioeléctricos, y se regula el procedimiento para la evaluación de la conformidad, la vigilancia del mercado y el régimen sancionador de los equipos de telecomunicación* o, en su caso, del Real Decreto 186/2016, de 6 de mayo, *por el que se regula la compatibilidad electromagnética de los equipos eléctricos y electrónicos*.

6. Que las mediciones se han realizado utilizando equipos de medida debidamente calibrados, según las especificaciones del fabricante, norma o reglamento aplicables.
7. Que la descripción fotográfica de los principales elementos, que se incluye a continuación, corresponde a las instalaciones certificadas.
8. Que aparece identificado en el fichero XML como “Tecnico_Competente”, y que dicha información es coincidente con los datos aportados en esta certificación.

En _____, a _____.

[Firmese electrónicamente]

RESTO DE ESTACIONES RADIOELÉCTRICAS

[Incluya todas las estaciones que se hayan instalado o modificado. Cada estación de la red debe de comenzar en una página independiente]

• ESTACIÓN con REFERENCIA o IDENTIFICADOR Nº:

(Inicio)

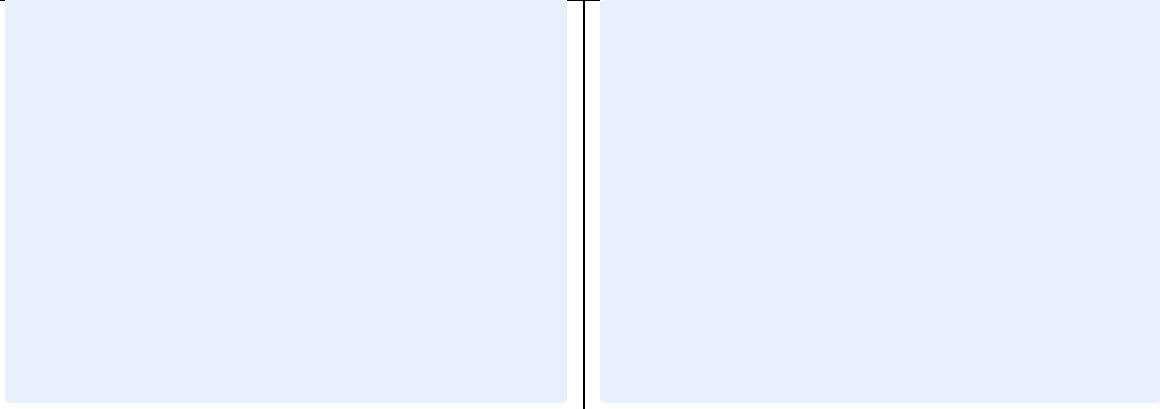
Identificación de la estación:

Nombre de estación:		Fecha revisión:	
Longitud:	GG° L MM' SS''CC	Latitud:	GG° N MM' SS''CC
Cota (m):			

Descripción fotográfica asociada a la estación:

[Incorpórese una descripción fotográfica de los principales elementos de cada instalación y, en particular, los siguientes]

- **Estación en su conjunto** (vista global, incluyendo caseta, mástil soporte de antenas, y sistema radiante).
- **Antena utilizada** (una o más fotografías con el detalle de los elementos del sistema radiante objeto de la certificación).
- **Coordenadas geográficas de la estación** en el datum ETRS89 para Península Ibérica e Islas Baleares, y REGCAN95 para Canarias, en la que se visualice la estación **junto con la pantalla de geolocalización** que muestre unas coordenadas próximas a la antena o fotografía con impresión de coordenadas incorporada.

	
Descripción 1:	Descripción ... :

Descripción ... :	Descripción ... :
Descripción ... :	Descripción n :

Enlace de transmisión de la estación:

➤ **ENLACE DE TRANSMISIÓN con REFERENCIA o IDENTIFICADOR N°:**

(Inicio)

CARACTERÍSTICAS DEL ENLACE DEL TRANSMISIÓN			
Marca transmisor:		Modelo transmisor:	
Marca antena:		Modelo antena:	
Ganancia máx. (dBi):	Apertura vertical haz (°):	Altura antena (m):	
Frecuencia TX:		Potencia radiada máx. (W):	
		Tipo potencia radiada:	
		Polarización:	
		Denominación:	
Sólo para radioenlaces	Acimut (°):	Ángulo elevación (°):	Longitud (m):
Sólo para comunicación por satélite	Designación haz:	PCM:	DPM:
	Nombre estación espacial:		Longitud orbital (°):
	Id. subred:		Canalización (kHz):
Sólo para redes móviles	Subtono:		CCIR:
	Id. subred:		Canalización (kHz):

➤ **ENLACE DE TRANSMISIÓN con REFERENCIA o IDENTIFICADOR N°:**

(Fin)

ANEXO C. Modelo de solicitud de autorización para la puesta en servicio de estaciones radioeléctricas fijas con potencia isotrópica radiada equivalente máxima superior a 1 vatio para uso privativo del dominio público radioeléctrico. [35]

Se aprueba el modelo de solicitud de autorización para la puesta en servicio de estaciones radioeléctricas fijas con potencia isotrópica radiada equivalente máxima superior a 1 vatio que se cumplimentará según el formulario publicado en la sede electrónica del Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital, y que contendrá, al menos, la siguiente información:

- a) La identificación del titular o, en su caso, del cesionario del derecho de uso del dominio público radioeléctrico, a través de los siguientes medios:
 1. Persona física española: Nombre, apellidos y número del Documento Nacional de Identidad.
 2. Persona física extranjera: Nombre, apellidos y número del documento equivalente al DNI en caso de extranjeros, o Número de Identificación Fiscal (NIF) otorgado por la Agencia Estatal de Administración Tributaria.
 3. Persona jurídica: Razón social y número de Identificación Fiscal (NIF) otorgado por la Agencia Estatal de Administración Tributaria.
- b) Cuando el solicitante no sea el titular, identificación del representante a través de los mismos medios que para el titular y documento que acredite la capacidad de representación para presentar la solicitud en nombre del titular o del cesionario.
- c) Una dirección de correo electrónico para el envío de un aviso en las notificaciones electrónicas.
- d) La referencia del título habilitante para el uso del dominio público radioeléctrico y, en el caso de cesión de derechos de uso del dominio público radioeléctrico, la referencia del expediente de autorización de la cesión.
- e) La referencia del expediente de aprobación del proyecto técnico de la estación y correspondiente autorización para realizar la instalación.
- f) La identificación del propietario de las instalaciones y del operador que efectúa las emisiones radioeléctricas, en caso de que éstos no fueran el titular o el cesionario de los derechos de uso. Para identificarlo se incluirá el nombre o la razón social y el Número de Identificación Fiscal (NIF) otorgado por la Agencia Estatal de Administración Tributaria o, en el caso de personas físicas extranjeras, si no dispone de NIF, el número del documento equivalente al Documento Nacional de Identidad (DNI).
- g) La identificación de la estación radioeléctrica que se ha instalado.
- h) Las coordenadas geográficas y el detalle de la ubicación de la estación.
- i) La declaración responsable de que la estación instalada se ajusta al proyecto técnico aprobado y a las condiciones previamente autorizadas por la Secretaría de Estado para la Sociedad de la Información y la Agenda Digital.
- j) Las características radioeléctricas de la estación, incluyendo las características del equipo transmisor y las características del sistema radiante.
- k) Justificante del pago de las tasas de telecomunicaciones establecidas en la Ley General de Telecomunicaciones, correspondientes al acto de reconocimiento técnico de las instalaciones previo a la autorización para la puesta en servicio o, en su caso, a la presentación de la certificación de instalación sustitutiva del reconocimiento técnico de la instalación previo a la autorización para la puesta en servicio.
- l) La declaración responsable de que la instalación cumple la normativa vigente en materia de telecomunicaciones; en particular, la relativa al uso del dominio público radioeléctrico y de que todos los equipos instalados cumplen la normativa vigente sobre compatibilidad electromagnética, evaluación de la conformidad, comercialización, puesta en servicio y uso de equipos radioeléctricos.
- m) El boletín de instalación y la documentación que lo acompaña, cuando el acto de reconocimiento técnico de la instalación deba ser efectuado por personal de la Secretaría de Estado para la Sociedad

de la Información y la Agenda Digital.

- n) La certificación de instalación de la estación radioeléctrica sustitutiva del reconocimiento técnico previo a la autorización para la puesta en servicio, cuando resulte exigible.
- o) La certificación de niveles de exposición radioeléctrica, cuando resulte exigible.

Solicitud de autorización para la puesta en servicio de estaciones radioeléctricas

D/D^a _____, con NIF/NIE _____,
en nombre y representación de _____, con
NIF _____, y domicilio en _____, con
código postal _____ y con correo electrónico para envío de avisos de notificación
_____.

EXPONE

1. Que desea poner en servicio:

- ☐ Estación de telefonía móvil o acceso inalámbrico fijo.
- ☐ Estación de radiodifusión sonora o de televisión.
- ☐ Estación de radioafición con distintivo de llamada _____.
- ☐ Resto de estaciones radioeléctricas.

2. Que actúa en calidad de:

- ☐ Titular/cesionario de derecho de uso privativo del dominio público radioeléctrico, cuyo expediente administrativo tiene referencia _____.
- ☐ Titular de una autorización individual para el uso especial del dominio público radioeléctrico cuyo expediente administrativo tiene referencia _____.
- ☐ Operador de comunicaciones electrónicas, autorizado por los titulares del derecho de uso del dominio público radioeléctrico con expedientes administrativos _____.
- ☐ Gestor del múltiple digital, autorizado por los titulares del derecho de uso del dominio público radioeléctrico con expedientes administrativos _____.
- ☐ Promotor de extensión de cobertura de televisión digital terrestre (TDT), autorizado por los titulares del derecho de uso del dominio público radioeléctrico con expedientes administrativos _____.
- ☐ Otros (especificar): _____, autorizado por los titulares del derecho de uso del dominio público radioeléctrico con expedientes administrativos _____.

3. Que los propietarios de las instalaciones o, en su caso, los titulares de uso de las instalaciones son:

_____, con NIF _____.

4. Que el operador de comunicaciones electrónicas que realiza las emisiones es:
[REDACTED], con NIF [REDACTED].
5. Que previamente ha obtenido la autorización de la Secretaría de Estado para la Sociedad de la Información y la Agenda Digital para realizar las instalaciones, cuyo expediente administrativo tiene referencia [REDACTED], y que se han ejecutado las instalaciones de acuerdo con los parámetros y características técnicas autorizadas por dicha Secretaría de Estado.
6. Que las instalaciones cumplen con las medidas de seguridad establecidas en la normativa vigente y han sido ejecutadas por:
 - ☐ Una empresa instaladora de telecomunicaciones, inscrita en el *Registro de Empresas Instaladoras de Telecomunicación* de la Secretaría de Estado para la Sociedad de la Información y la Agenda Digital para la instalación de estaciones de radiocomunicaciones (tipo D).
 - ☐ El radioaficionado, previamente autorizado por el Jefe Provincial de Inspección de Telecomunicaciones para efectuar dicha instalación.
7. Que, con esta solicitud, se adjunta:
 - ☐ Boletín de instalación y la documentación que lo acompaña, cumplimentado y firmado por la empresa instaladora de telecomunicaciones que ha realizado las instalaciones, para cada una de las estaciones objeto de esta solicitud.
 - ☐ Características técnicas de la instalación, cumplimentado y firmado por el radioaficionado que ha realizado la instalación.
 - ☐ Seguro de responsabilidad civil, establecido en el artículo 20 del Real Decreto 2623/1986, de 21 de noviembre, *por el que se regulan las instalaciones de antenas de estaciones radioeléctricas de aficionado*.
 - ☐ Justificante que acredita el pago de la tasa de telecomunicaciones, establecida en el apartado 4 del Anexo I de la Ley 9/2014, de 9 de mayo, *General de Telecomunicaciones*, para cada una de las estaciones objeto de esta solicitud.
 - ☐ Certificado de instalación, sustitutivo del acto de reconocimiento técnico de las instalaciones, expedido por técnico competente en materia de telecomunicaciones, en conformidad con la Resolución de 4 de mayo de 2017, de la Secretaría de Estado para la Sociedad de la Información y la Agenda Digital, *por la que se determinan los tipos de estaciones radioeléctricas para los que se requiere una certificación sustitutiva del acto de reconocimiento técnico previo a la autorización para la puesta en servicio*, para cada una de las estaciones objeto de esta solicitud.
 - ☐ Certificado de niveles de exposición radioeléctrica, expedido por técnico o profesional competente para realizar medidas de niveles de exposición radioeléctrica, de que los niveles existentes, en zonas cercanas a cada una de las estaciones objeto de esta solicitud que lo requieran, cumplen los límites de exposición radioeléctrica establecidos en el Anexo II del

Reglamento que establece las condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria frente a emisiones radioeléctricas, aprobado por el Real Decreto 1066/2001, de 28 de septiembre.

SOLICITA a la Secretaría de Estado para la Sociedad de la Información y la Agenda Digital:

- ☐ La autorización para la puesta en servicio de las estaciones radioeléctricas indicadas en la documentación que se adjuntan a esta solicitud.
- ☐ La expedición de la correspondiente licencia de estación de radioafición.

En _____, a _____.

[Fírmese la solicitud]

ANEXO D. Modelo de certificado de instalación sustitutivo del acto de reconocimiento técnico de las instalaciones para estaciones fijas con potencia isotrópica radiada equivalente máxima superior a 1 vatio para uso privativo del dominio público radioeléctrico. [35]

Se aprueba el modelo de certificación de instalación sustitutiva del acto de reconocimiento técnico de las instalaciones para estaciones fijas con potencia isotrópica radiada equivalente máxima superior a 1 vatio que se cumplimentará según el formulario publicado en la sede electrónica del Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital, y que contendrá, al menos, la siguiente información:

- a) La identificación del técnico competente que firma el certificado, incluyendo el nombre, apellidos y número de Documento Nacional de Identidad (DNI) o, en el caso de personas físicas extranjeras, el número de documento equivalente al DNI, o Número de Identificación Fiscal (NIF) otorgado por la Agencia Estatal de Administración Tributaria.
- b) Una dirección de correo electrónico para el envío de un aviso en las notificaciones electrónicas.
- c) La declaración de habilitación profesional y legal necesaria para la firma de la certificación.
- d) La referencia del título habilitante para el uso del dominio público radioeléctrico y, en el caso de cesión de derechos de uso del dominio público radioeléctrico, la referencia del expediente de autorización de la cesión.
- e) La referencia del expediente de aprobación del proyecto técnico de la estación y correspondiente autorización para realizar la instalación.
- f) La identificación de la estación radioeléctrica que se ha instalado.
- g) Las coordenadas geográficas y el detalle de ubicación de la estación.
- h) La declaración responsable de que la estación instalada se ajusta al proyecto técnico aprobado y a las condiciones previamente autorizadas por la Secretaría de Estado para la Sociedad de la Información y la Agenda Digital.
- i) La fecha en la que el técnico competente en materia de telecomunicaciones ha comprobado en la ubicación de la estación radioeléctrica sus características.
- j) La descripción fotográfica de los principales elementos de la instalación, incluyendo fotografía de la pantalla de geolocalización con indicación de las coordenadas geográficas de la estación.
- k) Las características radioeléctricas de la estación, incluyendo las características del equipo transmisor y las características del sistema radiante.
- l) La declaración responsable de que la instalación cumple la normativa vigente en materia de telecomunicaciones; en particular, la relativa al uso del dominio público radioeléctrico y de que todos los equipos instalados cumplen la normativa vigente sobre compatibilidad electromagnética, evaluación de la conformidad, comercialización, puesta en servicio y uso de equipos radioeléctricos.

ANEXO E. Modelo de certificado de niveles de exposición radioeléctrica para estaciones fijas para uso privativo del dominio público radioeléctrico. [35]

Se aprueba el modelo de certificado de niveles de exposición radioeléctrica para estaciones fijas, firmado por un técnico competente en materia de telecomunicaciones, a que se refiere el artículo 57 del Reglamento sobre el uso del dominio público radioeléctrico, que se cumplimentará según el formulario publicado en la sede electrónica del Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital, y que contendrá, al menos, la siguiente información:

- a) La identificación del técnico competente que firma el certificado, incluyendo el nombre, apellidos y número de Documento Nacional de Identidad (DNI) o, en el caso de personas físicas extranjeras, el número de documento equivalente al DNI, o Número de Identificación Fiscal (NIF) otorgado por la Agencia Estatal de Administración Tributaria.
- b) Una dirección de correo electrónico para el envío de un aviso en las notificaciones electrónicas.
- c) La declaración de habilitación profesional y legal necesaria para la firma de la certificación.
- d) La referencia del expediente de aprobación del proyecto técnico de la estación y correspondiente autorización para realizar la instalación.
- e) La identificación de la estación radioeléctrica que se ha instalado.
- f) La fecha y hora en la que el técnico competente en materia de telecomunicaciones ha realizado las mediciones de niveles de exposición radioeléctrica.
- g) La declaración de cumplimiento de los límites de exposición radioeléctrica establecidos en el Reglamento que establece condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitarias frente a emisiones radioeléctricas, aprobado por el Real Decreto 1066/2001, de 28 de septiembre.
- h) La declaración de cumplimiento de la obligación de instalar la señalización de advertencia de la estación radioeléctrica.
- i) La declaración de cumplimiento, cuando sea necesario, de la obligación de instalar un vallado que restrinja el acceso de personal no profesional en instalación, mantenimiento o inspección de estaciones radioeléctricas a zonas en las que pudieran superarse los límites establecidos en el anexo II del Reglamento que establece condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitarias frente a emisiones radioeléctricas. En este caso, el vallado o sistema equivalente deberá incorporar también la señal de prohibición de acceso al personal no profesional.
- j) Los informes de medidas de niveles de exposición radioeléctrica para fase 1, 2 o 3, según corresponda, tomadas, al menos, en cinco puntos conforme al procedimiento previsto en la Orden CTE/23/2002, de 11 de enero, por la que se establecen condiciones para la presentación de determinados estudios y certificaciones por operadores de servicios de radiocomunicaciones.
- k) La descripción fotográfica que evidencie la localización de los puntos de medida de niveles de exposición radioeléctrica, la señalización de advertencia y, en su caso, el vallado y la señal de prohibición de acceso de la estación.
- l) El certificado de calibración de los equipos de medida utilizados.

ANEXO F. Procedimiento para la realización de medidas de niveles de emisión. [34]

En el presente procedimiento se distinguen tres fases de medida: Fase-1, fase-2 y fase-3, dependiendo del grado de precisión y de las características del proceso de mediciones.

1. Fase previa a las mediciones

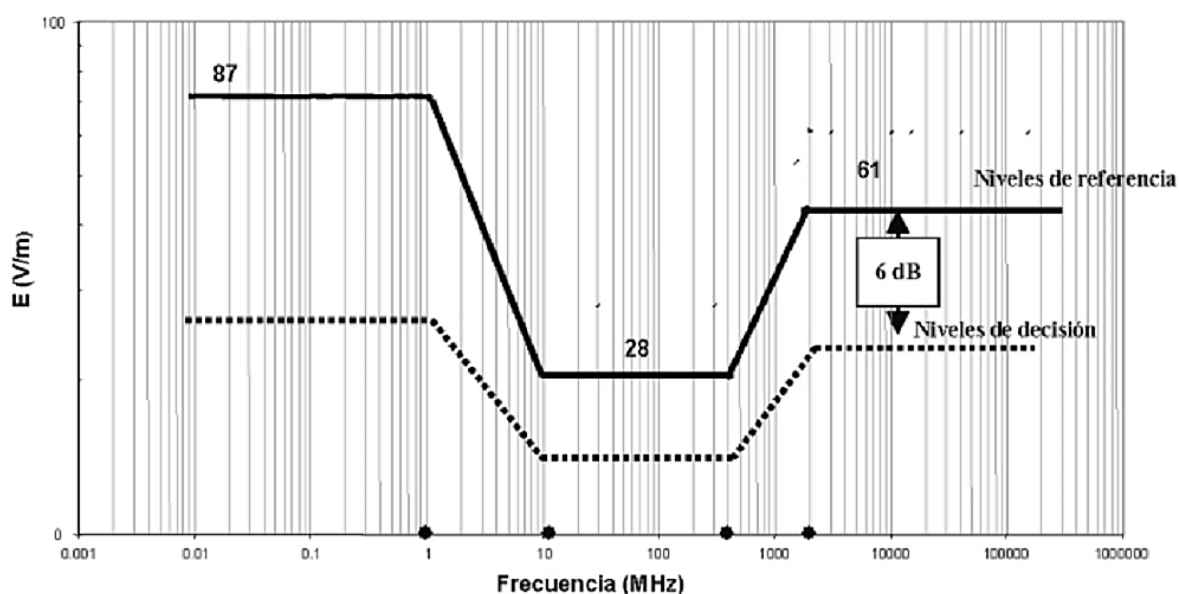
Previamente al proceso de medida, se debe recopilar toda la información necesaria de la/s estación/es radioeléctrica/s a evaluar y su entorno, al objeto de asegurar que las mediciones se efectúen en puntos de máximo nivel de emisión en los espacios en los que puedan permanecer habitualmente personas.

- a) Factores del entorno de las estaciones: Identificación de zonas en las que puedan permanecer habitualmente personas, particularmente en la dirección de máxima radiación de las antenas emisoras.
- b) Factores radioeléctricos: Debe tenerse en cuenta que el equipo de medida sea el más adecuado, en función del tipo de medida que vaya a realizarse. En consecuencia, se deben realizar las mediciones de los campos electromagnéticos sin la presencia de elementos perturbadores para estos campos como pueda ser el cuerpo humano del operario que realiza las mediciones. Por ello, se utilizan elementos adicionales para la medida, tales como trípodes no metálicos o mástiles, que permitan separar el equipo de medida del cuerpo del operario.

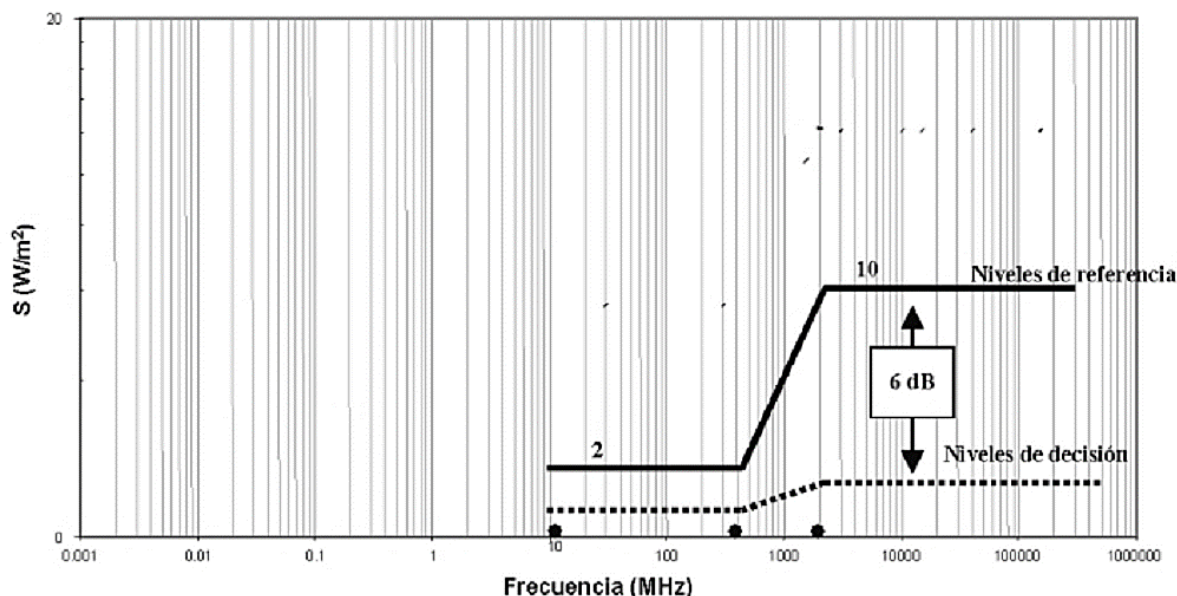
En la fase-1 de medida se utilizan equipos de medida de banda ancha con sondas isotrópicas que permiten caracterizar ambientes radioeléctricos de forma rápida, aunque no ofrecen información acerca de cada componente espectral.

Una vez identificados los puntos de máxima exposición, se realiza la medida, evitando que la presencia del técnico afecte al resultado. Se tomarán muestras (una por segundo) durante un período de seis minutos y se obtendrá el valor promediado en ese período). Se almacenan los valores obtenidos de las medidas para cada ubicación en que éstas se realicen. Se anotan los valores RMS obtenidos. Los resultados obtenidos en el proceso de medida, para cada magnitud, deben compararse con los denominados «niveles de decisión». Estos niveles de decisión se establecen en 6 dB por debajo de los niveles de referencia.

En el caso de intensidad de campo eléctrico V/m:



En el caso de densidad de potencias (W/m^2):



Si para todos los puntos de medida los niveles observados en las medidas no alcanzasen el umbral de detección del equipo o, si aun superando éste, fuesen inferiores a los niveles de decisión no sería necesario realizar mediciones adicionales en fases posteriores. Si algún valor de los obtenidos en el proceso de medida superase los niveles de decisión, deberá procederse a la realización de nuevas mediciones en la fase-2 o en la fase-3, en función de las circunstancias que se aprecien en cada caso, según se indica en los apartados siguientes.

2. Fase-2 de medida

En esta fase se deben utilizar analizadores de espectro o receptores de banda ancha selectivos en frecuencia. La fase-2 de medidas se centra en la realización de medidas en la banda de frecuencia comprendida entre 9 kHz y 3 GHz.

3. Fase-3 de medida

Cuando las fuentes emisoras a analizar estén operando en frecuencias distintas a las de la fase segunda se procede a la realización de estas medidas con un análisis más exhaustivo de las emisiones y se realizan mediciones de las magnitudes necesarias a fin de que pueda documentarse técnicamente cada una de las fuentes emisoras y la verificación de que sus niveles de intensidades de campos electromagnéticos presenten valores fácilmente comparables con los niveles de referencia fijados.

**Certificación de niveles de exposición radioeléctrica de estaciones de radiocomunicaciones
(incluido en la solicitud de autorización de puesta en servicio)**

D./D^a _____,
con NIF/NIE _____, y título académico/certificado de profesionalidad/acreditación de
competencia profesional *(eliminar lo que no proceda)* de _____ expedido por
la Universidad/Organismo
, y domicilio en _____, con código
postal _____ y con correo electrónico para envío de avisos de notificación
y, en su caso, colegiado número _____, del Colegio Oficial de _____.

[Repetir el bloque por cada técnico o profesional competente que haya medido niveles de exposición radioeléctrica]

CERTIFICA

1. Que está habilitado profesional y legalmente para la firma de la certificación.
2. Que ha realizado medidas de niveles de exposición radioeléctrica en puntos cercanos a las instalaciones correspondientes al expediente administrativo con referencia _____.
3. Que las mediciones se han realizado utilizando equipos de medida debidamente calibrados, según las especificaciones del fabricante, norma o reglamento aplicables.
4. Que ha verificado que los niveles medidos en los puntos que se muestran en el reportaje fotográfico son inferiores a los límites de exposición radioeléctrica establecidos en el Anexo II del *Reglamento que establece condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitarias frente a emisiones radioeléctricas*, aprobado por el Real Decreto 1066/2001, de 28 de septiembre, cuyos resultados se presentan:
 - ☐ incorporados en un fichero XML incluido junto con este certificado,
 - ☒ relacionados en el apartado “Principales comprobaciones realizadas” (cada estación en una página independiente).
5. Que ha comprobado que las instalaciones cuentan con la señalización informativa o de advertencia a la que se refiere el artículo 57.3 del *Reglamento sobre el uso del dominio público radioeléctrico*, aprobado por el Real Decreto 123/2017, como se muestra en el correspondiente reportaje fotográfico anexo a este certificado.
6. Que ha comprobado que, en las zonas donde pudieran superarse los límites establecidos en el reglamento aprobado por el Real Decreto 1066/2001, existe un sistema de restricción de acceso:
 - ☐ vallado,
 - ☐ sistema equivalente,

y, además, incorpora la correspondiente señalización de prohibición de acceso al que se refiere el artículo 57.3 del *Reglamento sobre el uso del dominio público radioeléctrico*, aprobado por el Real Decreto 123/2017, como se muestra en el correspondiente reportaje fotográfico anexo a este certificado.

7. Que el reportaje fotográfico de los puntos de medida, la señalización y, si procede, del vallado o sistema equivalente, que aparece anexo a este certificado, corresponden a las instalaciones certificadas.
8. Que aparece identificado en el fichero XML como “Tecnico_Responsable”, dentro del informe de medidas de la Fase que corresponda (Fase 1, Fase 2 o Fase 3), y que dicha información es coincidente con los datos aportados en esta certificación.

En _____, a _____.

[Firmese electrónicamente por cada técnico o profesional competente]

PRINCIPALES COMPROBACIONES REALIZADAS

RESTO DE ESTACIONES RADIOELÉCTRICAS

• **ESTACIÓN con REFERENCIA o IDENTIFICADOR N°:**

(Inicio)

Identificación de cada estación

Nombre estación:		Tipología estación:	
------------------	--	---------------------	--

Informe de Medidas en Fase I

[Inclúyanse sólo en caso necesario]

Modelo 1 (Aplicable a los estudios y las certificaciones de Estaciones ya instaladas, cuyas mediciones se lleven a cabo en FASE-1).

<u>Equipo de medida utilizado.</u> Marca: Modelo: N° Serie: Fecha última calibración: Valor del umbral de detección:				<u>Datos de las Mediciones.</u> N° de Estación: Nombre de Estación: Fecha de realización: Técnico responsable: (8) N° total de mediciones: (*):																											
<u>Antena utilizada.</u> Marca: Modelo: Longitud de cable (m):		Localización del punto de medida respecto del soporte de antenas. <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 50%;">Distancia (m)</th> <th style="width: 50%;">Acimut (°)</th> </tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> </table>	Distancia (m)	Acimut (°)																					Hora de inicio de cada medición	Nivel de referencia (W/m²) (1)	Nivel de referencia (V/m) (2)	Nivel de decisión (W/m²) (3)	Nivel de decisión (V/m) (4)	Valor medido promediado (5)	Diferencia. (3)-(5)+(4)-(5) (6)
Distancia (m)	Acimut (°)																														
(7)																															

Notas aclaratorias:

- (1), (2) Según R.D. 1066/2001, de 28 de septiembre, en función de la frecuencia.
- (3), (4) Según se señala en el procedimiento para la realización de medidas.
- (5) En las unidades señaladas en (1) o en (2), si las mediciones estuviesen por debajo del umbral de detección del equipo. Señálese "<Umbral". Para las estaciones proyectadas señálese indíquese el nivel preexistente.
- (6) Caso de resultar la diferencia negativa, deberán realizarse mediciones en FASE-2 o FASE-3.
- (*), (7) Rellénese un registro por cada medición llevada a cabo. El número de estas no puede ser inferior a cinco.
- (8) El técnico responsable es la persona física que realiza las medidas de niveles de exposición radioeléctrica y es el técnico o profesional competente para la realización de estas medidas.

Informe de medidas en Fase II o Fase III

[NOTA: Inclúyanse sólo en caso necesario]

Modelo 2 (Aplicable a las certificaciones de estaciones ya instaladas, cuyas mediciones se lleven a cabo en FASE-2 o FASE-3).

<u>Equipo de medida utilizado.</u> Marca: Modelo: Nº Serie: Fecha última calibración: Valor del umbral de detección: <u>Antena utilizada.</u> Marca: Modelo: Longitud de cable (m):				<u>Datos de las Mediciones.</u> Nº de Estación: Nombre de Estación: Fecha de realización: Técnico responsable: (8) Nº total de mediciones: (*):				
Localización del punto de medida respecto del soporte de antenas.		Hora de inicio de cada medición	Frecuencia Medida.	Nivel de referencia. (V/m)	Nivel de referencia (A/m)	Valor medido. (V/m)	Valor medido. (A/m)	Supera el nivel 40 dB inferior al nivel de referencia. SI o NO (6)
Distancia (m)	Acimut (º)							
(7)								

Notas aclaratorias:

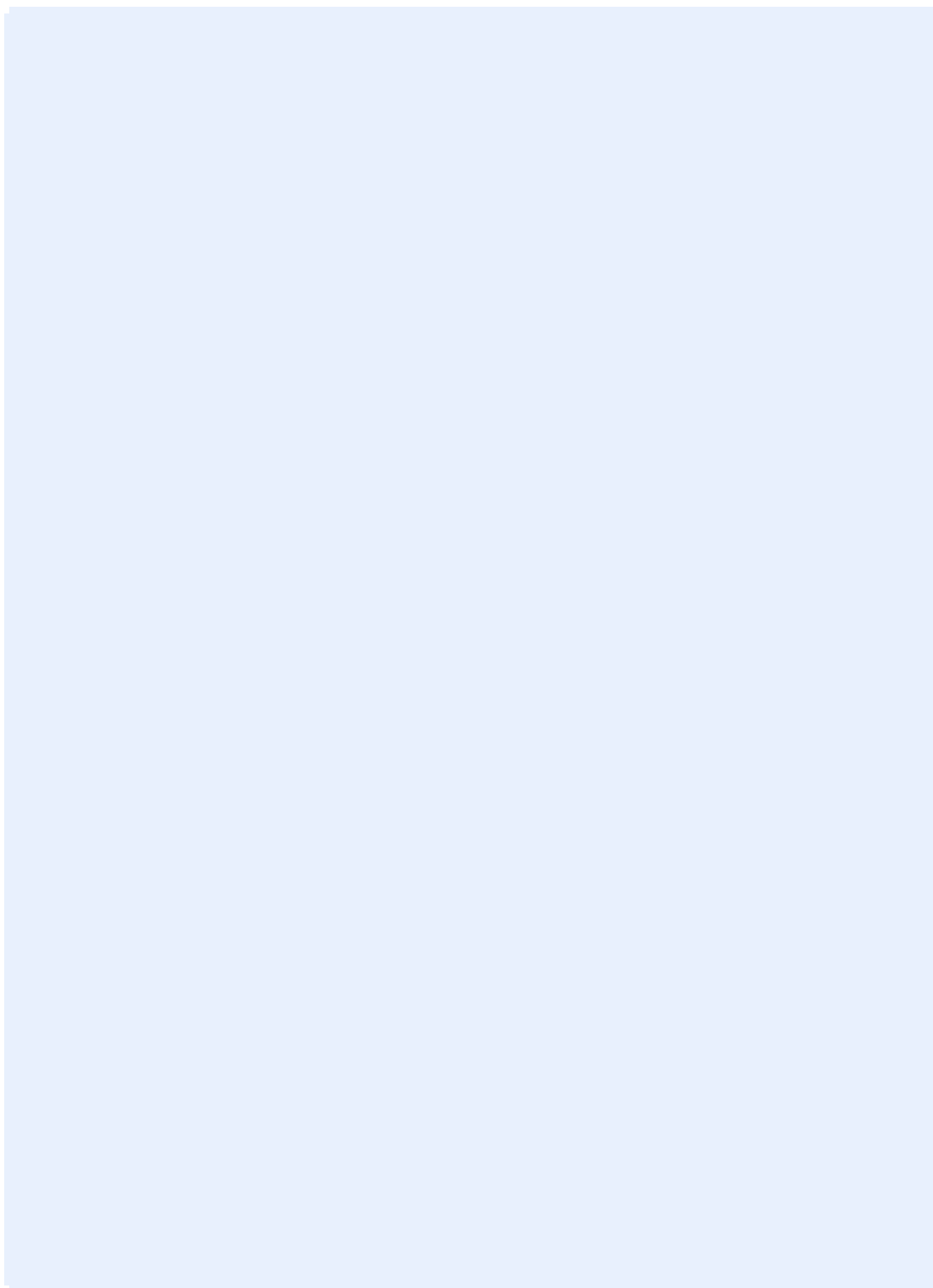
- (1) Indíquese la frecuencia máxima de la señal en la banda analizada.
 (2), (3) Según R.D. 1066/2001, de 28 de septiembre, en función de la frecuencia.
 (4) En las mismas unidades señaladas en (2).
 (5) Sólo se debe rellenar en mediciones realizadas en campo cercano.
 (6) Señálese SI o NO, según proceda.
 (*), (7) Rellénese un registro por cada medición llevada a cabo.
 (8) El técnico responsable es la persona física que realiza las medidas de niveles de exposición radioeléctrica y es el técnico o profesional competente para la realización de estas medidas.

Reportaje fotográfico

[Incorpórense un reportaje fotográfico que contenga los siguientes elementos:]

- **Puntos de medida** de niveles de exposición radioeléctrica (visualización de la estación junto con el equipo de medida en cada lugar de medición).
- **Señalización de advertencia** de estación radioeléctrica.
- **Vallado perimetral o sistema equivalente**, sólo en el caso de que sea necesario restringir el acceso de personal no profesional en instalación, mantenimiento o inspección de estaciones radioeléctricas a las zonas donde pudieran superarse los límites establecidos en el reglamento aprobado por el Real Decreto 1066/2001, y **señalización que prohíba el acceso al público en general por exposición radioeléctrica no ionizante en caso de que se requiera vallado perimetral o sistema equivalente**].

Descripción 1:	Descripción ... :
Descripción ... :	Descripción ... :
Descripción ... :	Descripción n :

Certificado de calibración de todos los equipos de medida utilizados

- **ESTACIÓN con REFERENCIA o IDENTIFICADOR N°:**

(Fin)

REFERENCIAS

- [1] José María Hernando Rábanos, Transmisión por Radio, Séptima Edición, Editorial Universitaria Ramón Areces, 2013.
- [2] Juan José Murillo Fuentes - Rafael Boloix Tortosa, "Introducción a Sistemas de Radiocomunicación. Transparencias de la asignatura Sistemas de Telecomunicación", Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Universidad de Sevilla, 2017.
- [3] Pedro E. Danizio, «Comunicaciones fijas y móviles. Generalidades de Radioenlaces.,» [En línea]. Available: <http://slideplayer.es/slide/5396583/>. [Último acceso: Febrero 2018].
- [4] Pablo Turmero, «Radioenlaces terrenales del servicio fijo - Monografias.com.,» [En línea]. Available: <http://www.monografias.com/trabajos102/radioenlaces-terrenales-del-servicio-fijo/radioenlaces-terrenales-del-servicio-fijo.shtml>. [Último acceso: Febrero 2018].
- [5] Secretaría de Estado para la Sociedad de la Información y la Agenda Digital, «Bandas y canalizaciones disponibles en el Servicio Fijo de banda ancha,» Diciembre 2017. [En línea]. Available: <https://sede.minetur.gob.es/es-ES/procedimientoselectronicos/Documents/SE%20Telecomunicaciones/Redes%20Radioelectricas%20Servicio%20Banda%20Ancha/bandas-frecuencia-canalizaciones-disponibles-SF-banda-ancha.pdf>. [Último acceso: Junio 2018].
- [6] Pedro Ruesca, «Teoría de Antenas - Radiocomunicaciones Blog Técnico,» 25 Septiembre 2016. [En línea]. Available: <http://www.radiocomunicaciones.net/radio/teoria-de-antenas/>. [Último acceso: Febrero 2018].
- [7] Israel M. Zamora, «Lecture 10 radioenlaces terrenales servicio fijo p1,» 2015. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/nica2009/lecture-10-radioenlaces-terrenales-servicio-fijo-p1>. [Último acceso: Febrero 2018].
- [8] Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT, «Recomendación UIT-R P.526-14,» Enero 2018. [En línea]. Available: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.526-14-201801-I!!PDF-E.pdf. [Último acceso: Marzo 2018].
- [9] Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT, «Recomendación UIT-R P.676-11,» Septiembre 2016. [En línea]. Available: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.676-11-201609-I!!PDF-S.pdf. [Último acceso: Marzo 2018].
- [10] Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT, «Recomendación UIT-R P.530-17,» Diciembre 2017. [En línea]. Available: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.530-17-201712-I!!PDF-E.pdf. [Último acceso: Marzo 2018].
- [11] Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT, «Recomendación UIT-R P.838-3,» Marzo 2005. [En línea]. Available: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.838-3-200503-I!!PDF-S.pdf. [Último acceso: Marzo 2018].

- [12] Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT, «Recomendación UIT-T G.826,» Diciembre 2002. [En línea]. Available: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.826-200212-I/es>. [Último acceso: Abril 2018].
- [13] Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT, «Recomendación UIT-R F.1703-0,» Enero 2005. [En línea]. Available: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/f/R-REC-F.1703-0-200501-I!!PDF-S.pdf. [Último acceso: Marzo 2018].
- [14] Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT, «Recomendación UIT-R F.1668-1,» Enero 2007. [En línea]. Available: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/f/R-REC-F.1668-1-200701-I!!PDF-S.pdf. [Último acceso: Marzo 2018].
- [15] ATDI, «Manual de Inicio de ICS Telecom,» [En línea]. Available: http://doc-center.atdi.pro/#/viewer/Manual_de_inicio_ICS_telecom_EV.pdf. [Último acceso: Abril 2018].
- [16] ATDI, «Free Map Download | ATDI,» [En línea]. Available: http://www.atdi.com/cartography/#!mg_id=11725. [Último acceso: Abril 2018].
- [17] Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital, «Niveles de exposición,» [En línea]. Available: <https://geoportal.minetur.gob.es/VCTEL/vcne.do>. [Último acceso: Abril 2018].
- [18] ABC de Sevilla, «Plano Feria de Abril Sevilla 2018,» [En línea]. Available: <http://sevilla.abc.es/informacion/sevilla/recursos/pdf/2018/plano-feria-de-abril-sevilla-2018.pdf>. [Último acceso: Abril 2018].
- [19] María Dolores Arguinchona Echavarri, «Optimización Diseño Red de Acceso de Transmisión de Telefonía Móvil,» Proyecto Fin de Carrera, 2015. [En línea]. Available: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/12404/fichero/PFC+-+Optimización+Red+de+Transmisión.pdf>. [Último acceso: Abril 2018].
- [20] Ángel Márquez Alcaide, «Instalación de la red móvil y fija para la cobertura en la feria de Sevilla de Abril 2016,» Trabajo Fin de Grado, 2016. [En línea]. Available: http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/90760/fichero/TFG_ANGEL_MARQUEZ_ALCAIDE_FERIA+SEVILLA.pdf. [Último acceso: Abril 2018].
- [21] Secretaría de Estado para la Sociedad de la Información y Agenda Digital, «Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias - Espectro Radioeléctrico,» [En línea]. Available: <http://www.minetad.gob.es/telecomunicaciones/Espectro/Paginas/CNAF.aspx>. [Último acceso: Marzo 2018].
- [22] Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias, «Notas UN CNAF 2017,» [En línea]. Available: <http://www.minetad.gob.es/telecomunicaciones/espectro/CNAF/notas-UN-2017.pdf>. [Último acceso: Marzo 2018].
- [23] Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias, «Figuras de canalizaciones y planes de utilización de bandas de frecuencias,» 2017. [En línea]. Available: http://www.minetad.gob.es/telecomunicaciones/espectro/CNAF/figuras_2017_vf.pdf. [Último acceso: Marzo 2018].
- [24] Alcatel Lucent, «Datasheet Alcatel Lucent 9500 MXC,» [En línea]. Available: https://www.daywireless.com/dealer-downloads/broadband_connectivity/9500_MXC_DS.pdf. [Último acceso: Abril 2018].

- [25] Commscope, «Antennas,» 2018. [En línea]. Available: https://es.commscope.com/catalog/wireless/product_narrow_antmicro.aspx?id=441. [Último acceso: Abril 2018].
- [26] Commscope, «Product Specifications VHLP200-38,» Octubre 2017. [En línea]. Available: <https://www.commscope.com/catalog/wireless/pdf/part/27272/VHLP200-38.pdf>. [Último acceso: Marzo 2018].
- [27] «Rack Exterior Outdoor 19 Pulg. Telecomunicaciones,» [En línea]. Available: https://articulo.mercadolibre.cl/MLC-453107336-gabinete-rack-exterior-outdoor-19-pulg-telecomunicaciones-_JM.
- [28] Alcatel Lucent, «Alcatel-Lucent 9500 MXC Microwave Cross Connect Manual User,» Junio 2008. [En línea]. Available: https://infoproducts.alcatel-lucent.com/cgi-bin/dbaccessfilename.cgi/3DB23063AEAA_V1_9500%20MXC%20USER%20MANUAL.pdf. [Último acceso: Mayo 2018].
- [29] Antonio Melgarejo Peña, «Radioenlaces punto a punto,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.educa2.madrid.org/web/antonio.melgarejo/radioenlaces-punto-a-punto/-/visor/equipos-instalados-en-las-estaciones-base-de-telefoniamovil;jsessionid=3F769C786EA795804B36748F0F0F11FF>. [Último acceso: Abril 2018].
- [30] Sede Electrónica del Ministerio de Industria, Comercio y Turismo, «Detalle de Procedimientos Electrónicos, en el apartado: Otros servicios (radiobúsqueda, radiocomunicación por satélite, fijo y móvil de banda estrecha, fijo punto a punto o multipunto, radioenlaces, ...) prestados mediante redes de estaciones,» [En línea]. Available: <https://sede.minetur.gob.es/es-es/procedimientosselectronicos/Paginas/detalle-procedimientos.aspx?IdProcedimiento=34>. [Último acceso: Abril 2018].
- [31] Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital, «Real Decreto 123/2017 por el que se aprueba el Reglamento sobre el uso del dominio público radioeléctrico,» 8 Marzo 2017. [En línea]. Available: <https://www.boe.es/buscar/pdf/2017/BOE-A-2017-2460-consolidado.pdf>. [Último acceso: Abril 2018].
- [32] Secretaría de Estado para la Sociedad de la Información y la Agenda Digital, «Tipos de estaciones radioeléctricas para los que se requiere una certificación sustitutiva del acto de reconocimiento técnico previo a la autorización para la puesta en servicio,» 4 Mayo 2017. [En línea]. Available: <https://www.boe.es/boe/dias/2017/05/12/pdfs/BOE-A-2017-5193.pdf>. [Último acceso: Abril 2018].
- [33] Ministerio de la Presidencia, «Real Decreto 1066/2001, modificado el 8 de Marzo de 2017, por el que se establecen condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria,» 29 Septiembre 2001. [En línea]. Available: <http://www.boe.es/buscar/pdf/2001/BOE-A-2001-18256-consolidado.pdf>. [Último acceso: Abril 2018].
- [34] Ministerio de Ciencia y Tecnología, «Orden CTE/23/2002, modificado 8 de Marzo de 2017, por la que se establecen condiciones para la presentación de determinados estudios y certificaciones por operadores de servicios de radiocomunicaciones,» 11 Enero 2002. [En línea]. Available: <http://www.boe.es/buscar/pdf/2002/BOE-A-2002-694-consolidado.pdf>. [Último acceso: Abril 2018].
- [35] Secretaría de Estado para la Sociedad de la Información y la Agenda Digital, «Modelos relacionados con la autorización para la puesta en servicio de determinadas estaciones que hacen uso del dominio público radioeléctrico,» 28 Julio 2017. [En línea]. Available: <https://www.boe.es/boe/dias/2017/08/08/pdfs/BOE-A-2017-9463.pdf>. [Último acceso: Abril 2018].

- [36] Carlos Crespo Cádenas - María José Madero Ayora, "Tema 7. Radiopropagación. Fundamentos de Radiocomunicación", Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Universidad de Sevilla, 2017.
- [37] Susana Hornillo Mellado, Prácticas de la Asignatura Sistemas de Radiocomunicación, Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Universidad de Sevilla, 2017.
- [38] Diego Fernández Carballo, «Nuevas Tecnologías Aplicadas a la Red de Acceso Móvil: Evolución,» Trabajo Fin de Máster, 2015. [En línea]. Available: http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70656/fichero/Proyecto_final.pdf. [Último acceso: Abril 2018].
- [39] José Luis López Vázquez, «El radioenlace en la red de acceso GSM,» Proyecto Fin de Carrera, 2012. [En línea]. Available: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/12086/fichero/EL+RADIOENLACE+EN+LA+RED+DE++ACCESO+GSM.pdf>. [Último acceso: Abril 2018].